Aus dem Robert Koch-Institut Berlin
Direktor: Dr. med. Georg Henneberg

PRÜFUNG DER STERILISIERBARKEIT VON OBERFLÄCHEN DURCH ULTRAVIOLETTE STRAHLEN (BEKÄMPFUNG DES HOSPITALISMUS) UND VORSCHLÄGE ZUR STERILISIERUNG DES ARBEITSPLATZES IN EINER APOTHEKE.

TESTKEIM:
MICROCOCCUS PYOGENES VAR. AUREUS
HAEMOLYTICUS SG 511

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Freien Universität Berlin

Vorgelegt von
Horst Stenschke
aus
Birnbaum / Warthe
1969
1970

Aus dem Robert Koch-Institut Berlin
Direktor: Dr. med. Georg Henneberg

PRÜFUNG DER STERILISIERBARKEIT VON OBERFLÄCHEN DURCH ULTRAVIOLETTE STRAHLEN (BEKÄMPFUNG DES HOSPITALISMUS) UND VORSCHLÄGE ZUR STERILISIERUNG DES ARBEITSPLATZES IN EINER APOTHEKE.

TESTKEIM:
MICROCOCCUS PYOGENES VAR. AUREUS
HAEMOLYTICUS SG 511

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Freien Universität Berlin

Vorgelegt von
Horst Stenschke
aus
Birnbaum / Warthe
1969

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan : Prof. Dr. rer. nat. Waldemar B r o s e r

1. Referent: Prof. Dr. med. Georg H e n n e b e r g

2. Referent: Prof. Dr. phil. Gerhard S c h e n c k

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Januar 1970

Tag der Promotion : 24. APR. 1970

Die vorliegende Arbeit wurde im Robert Koch-Institut Berlin in der Zeit von Mai 1967 bis Mai 1969 durchgeführt.

Das Thema dieser Arbeit erhielt ich von

Herrn Prof. Dr. med. Georg H e n n e b e r g,
Direktor des Robert Koch-Institutes Berlin,

dem ich für seine ständige Beratung und großzügige Förderung zu größtem Dank verpflichtet bin.

Herrn Prof. Dr. K. H e i c k e n, Herrn Dr. G. S p i c h e r und Herrn Dr. P. G i e s b r e c h t möchte ich meinen Dank für wertvolle Ratschläge zu meiner Arbeit aussprechen.

Inhaltsverzeichnis

Seite

A. Einleitung..... 6

B. Problemstellung..... 15

C. Experimenteller Teil..... 21

I. Messung der Bestrahlungsstärke des benutzten UV-Strahlers..... 21

a) Technische Daten des UV-Strahlers..... 21

1.) Definition der Bestrahlungsstärke.. 22

2.) Definition der Bestrahlungsdosis... 23

b) Technische Daten der zur Messung benutzten Geräte..... 23

1.) Thermoelement der Firma "Hilger and Watts"..... 23

2.) Digital-Voltmeter "M 41 A" der Firma "Wagner"..... 24

c) Messung der Bestrahlungsstärke..... 24

1.) Gemessene Bestrahlungsstärke..... 25

2.) Errechnete Bestrahlungsstärke..... 26

3.) Errechnete Bestrahlungsdosis..... 29

II. Charakterisierung der benutzten Materialien..... 32

a) Resopal..... 32

b) dc-fix..... 32

c) PVC..... 32

d) Linoleum..... 33

e) Tapete..... 34

f) Furnierholz..... 34

Seite

III. Methode der Versuchsanordnungen..... 35

IV. Untersuchung des Einflusses verschiedener Bestrahlungszeiten auf die Keim-Inaktivierung..... 37

V. Untersuchung des Einflusses verschiedener Abstände (Testoberfläche zum UV-Strahler) auf die Keim-Inaktivierung..... 38

a) Bestrahlungsdauer: 5 Minuten..... 38

b) Bestrahlungsdauer: 15 Minuten..... 38

VI. Untersuchung des Einflusses einer Bestrahlung ohne Reflektor auf die Keim-Inaktivierung..... 39

a) Bestrahlungsdauer: 5 Minuten..... 39

b) Bestrahlungsdauer: 15 Minuten..... 39

VII. Zusammenstellung der prozentualen Inaktivierungsraten der Testoberflächen..... 39

VIII. Auswertung der ermittelten prozentualen Inaktivierungsraten der untersuchten Oberflächen..... 52

a) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 5 52

b) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 6 52

c) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 7 53

d) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 8 55
e) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 9 56
IX. Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit der Testmaterialien..... 57
X. Zusammenstellung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen..... 59
XI. Auswertung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen unter Berücksichtigung der praktischen Versuchsergebnisse..... 68
a) Testoberfläche: Resopal..... 68
b) Testoberfläche: dc-fix..... 68
c) Testoberfläche: PVC..... 68
d) Testoberfläche: Linoleum..... 69
e) Testoberfläche: Tapete..... 69
f) Testoberfläche: Furnierholz..... 70
D. Zusammenfassung und Diskussion..... 71
E. Literaturangaben..... 75

A. Einleitung

DOWNES und BLUNT (1) entdeckten im Jahre 1877, daß die Sonnenstrahlen keiminaktivierende Kräfte besitzen. Diese Eigenschaft, so deuteten beide Forscher an, sei hauptsächlich dem blauen Teil des Sonnenlichtes zuzuschreiben.

SEMPLE und GREIG (2) fanden bei ihren Versuchen in Indien heraus, daß Salmonella typhi durch eine zwei Stunden andauernde, direkte Sonneneinstrahlung inaktiviert wurde. Im Jahre 1926 erzielte MEADER (3) ein interessantes Versuchsergebnis: Die direkte Strahlung der Mittagssonne inaktivierte Staphylococcus aureus-Keime innerhalb einer Stunde. Er arbeitete bei seinen Versuchen auf einer Erhebung von 800 Fuß, die etwa auf 42 Grad nördlicher Breite lag.

"Obwohl nur ein verschwindend geringer Teil des UV-Lichtes (wahrscheinlich nur 0,1 % der Sonnenenergie) durch den Atmosphärenmantel der Erde dringt, ist das Ausmaß der Zerstörung vieler Bakterienarten erstaunlich hoch." Diese Aussage stammt von Ernest C. McCULLOCH (4). Er stellte außerdem fest, daß die Wellenlängen der zur Erdoberfläche gelangenden UV-Strahlen selten kürzer als 2950 Å sind.

Im Jahre 1905 beobachtete S. BANG (5) im Laboratorium von FINSEN, daß der inaktivierende Effekt des künstlichen UV-Lichtes stark anwuchs, je kürzer die angewandten Wellenlängen waren.

Zu einer genaueren Aussage gelangte GATES (6) im Jahre 1929. Er prüfte die Abhängigkeit der Anzahl der inaktivierten Bakterien (Staphylococcus aureus) von der Dosis verschiedener Wellenlängen. Es stellte sich heraus, daß das Optimum zur Inaktivierung der Staphylokokken bei der Wellenlänge 2652 Å lag.

Unter diesen günstigen Voraussetzungen konnten EHRISHMANN und NOETHLING (7) mit guten Erfolgsaussichten Versuche über die Schädigung der verschiedensten Mikroorganismen durch ultraviolette Strahlen in Abhängigkeit von der Wellenlänge und der Dosis aufgreifen. Die 1932 von diesen Forschern veröffentlichten Versuchsergebnisse bestätigen in hervorragender Weise die Arbeit von GATES, denn für fast alle der untersuchten Pilze und Bakterien war ebenfalls eine Wellenlänge von etwa 2650 Å die wirksamste. Der Vergleich der spektralen Wirkungskurven der Bakterien-Inaktivierung von GATES (Testkeim: Staphylococcus aureus) und EHRISHMANN und NOETHLING (Mittelwert für verschiedene Bakterien) zeigt einen nahezu identischen Kurvenverlauf (8).

Hiervon macht nur Escherichia coli eine Ausnahme, das für die Wellenlänge 2540 Å die größte Anfälligkeit zeigt (9). DUGGER und HOLLAENDER (10) entdeckten 1934, daß der Wellenlängenbereich von 2652Å bis 2804 Å zur Inaktivierung für verschiedene Sporen und Bazillen optimal ist.

Die Ergebnisse der eben genannten Arbeiten weisen darauf hin, daß einzelne Bakterienarten verschieden stark auf

UV-Strahlen reagieren, und zwar steigt die Empfindlichkeit von Diphtheriebakterien über Coli-Bakterien zu Staphylokokken, Cholera-Bazillen und Typhus-Bazillen an (11). Die prozentuale Zahl der inaktivierten Bakterien ist nicht proportional der Bestrahlungsdosis, sie nimmt aber mit steigender Dosis zu. Die charakteristischen Kurven, die die Zahl der inaktivierten Bakterien in Abhängigkeit von der Dosis und zwar für verschiedene Wellenlängen zeigen, haben S-förmigen Verlauf und lassen sich durch Parallelverschiebung nahezu zur Deckung bringen. Die Kurven steigen ganz allmählich von dem Wert 0 % an und gehen ganz allmählich auf den Wert 100 % über. Daraus kann gefolgert werden, daß die Bakterien-Inaktivierung keinen Schwellenwert hat; vielmehr genügt schon die kleinste Dosis, um zufallsmäßig das eine oder andere Bakterium zu inaktivieren. Andererseits werden bei sehr hohen Bakterienzahlen auch bei noch so großer Bestrahlungsdosis zufällig einige Exemplare der Vernichtung entgehen. Diese bedeutsame Feststellung führt zu folgender Frage: Auf welche Weise werden Mikroorganismen durch UV-Strahlen inaktiviert?

Viele Forscher haben sich mit diesem außerordentlich wichtigen Thema befaßt. Zunächst fand die Theorie, daß Mikroorganismen durch UV-Strahlen auf "indirektem Wege" inaktiviert werden, große Beachtung.

Im Jahre 1925 entdeckte BURNETT (12), daß unter dem Einfluß des Sonnenlichtes bei Anwesenheit von atmosphärischem Sauerstoff Wasserstoffperoxid gebildet wird. WESTBROOK (13)

zeigte, daß bei der UV-Bestrahlung von Tetanus- und Cholera-Kulturen Sauerstoff verbraucht wurde. Schließlich konnte CURRAN (14) im Jahre 1936 nachweisen, daß während der UV-Bestrahlung bei Anwesenheit von Sauerstoff sowohl Ozon als auch Wasserstoffperoxid gebildet werden; diese Stoffe müßten, so meinte CURRAN, eine entscheidende Rolle bei der Inaktivierung von Mikroorganismen spielen. Die gleiche Meinung vertraten KLEMPERER und RAWINOWITSCH-KEMPNER im Jahre 1922 und JOLASSE und LAUSTER im Jahre 1936 (15). Einige Zeit später stellte McCULLOCH (16) fest, daß die Wellenlänge 1850 Å kleine Mengen atmosphärischen Sauerstoffs in Ozon umzuwandeln vermag.

Die "indirekte Inaktivierung" von Mikroorganismen durch UV-Strahlen wird demnach folgendermaßen erklärt: UV-Licht läßt Ozon und Wasserstoffperoxid entstehen, und erst diese Stoffe wirken durch Oxydation inaktivierend (17).

Bei sorgfältiger Prüfung dieses Ergebnisses früherer Forschungsarbeiten kamen BUCHHOLZ und JENEY (18) im Jahre 1935 zu der Feststellung, daß die Anwesenheit von Sauerstoff für den inaktivierenden Effekt der UV-Strahlen nicht wesentlich ist. Die beiden Forscher deuteten die Möglichkeit an, daß im Protoplasma der Bakterien durch UV-Bestrahlung Veränderungen stattfinden, die zu irreversiblen photochemischen Reaktionen führen.

Später zeigten Versuche mit ozonbildenden und nicht ozonbildenden UV-Strahlern, daß ozonbildende Strahler eine etwas größere inaktivierende Wirkung entfalten (19).

EHRISHMANN (20) konnte im Jahre 1929 zeigen, daß die Wirkung der UV-Strahlen im wesentlichen als ein kolloidchemischer Vorgang zu betrachten ist. Für diese Auffassung sprechen auch die elektronenoptischen Bakterienaufnahmen von GÄRTNER (1948), auf denen das Keimplasma nach UV-Bestrahlung deutlich in seiner Struktur verändert war.

Somit war ein neuer Weg für weitere Arbeiten gebahnt, und in der Folgezeit fand diese zweite Theorie der "direkten Inaktivierung"von Mikroorganismen durch UV-Strahlen viele Anhänger.

Der Einfluß der UV-Strahlen auf gelöste Eiweißstoffe war Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (GENTNER und SCHWERIN, 1930; RAJEWSKY 1928, 1929). Die Ergebnisse dieser Arbeiten lassen sich folgendermaßen zusammenfassen: Nach Denaturierung des Eiweißmoleküls tritt Koagulation des denaturierten Eiweißes ein (21).

Alle Proteinkörper weisen eine mehr oder weniger hohe UV-Empfindlichkeit auf. Sie übertrifft die Empfindlichkeit aller anderen Grundsubstanzen des biologischen Gewebes. Die Eiweißkörper zeigen im allgemeinen eine ausgeprägte Absorption im UV-Bereich. Das Maximum liegt bei etwa 2750 Å bis 2800 Å nach ANSLOW (22). Die einzelnen Eiweißkörper weisen jedoch bei näherer Analyse verschiedene Absorptionsspektren auf (23). Besondere Bedeutung dürfte der Desoxyribonucleinsäure zukommen, deren Absorptionskurve nach CASPERSON (24) nahezu identisch ist mit der Wirkungskurve der Bakterien-

Inaktivierung nach EHRISHMANN und NOETHLING. Dies gibt daher Veranlassung anzunehmen, daß die inaktivierende Wirkung der UV-Strahlen mit dieser Zellsubstanz zusammenhängt; d.h. nicht nur die Proteine des Zellplasmas, sondern weit mehr der Zellkern selbst könnte Angriffspunkt der UV-Strahlen sein.

Wenn man das ultraviolette Licht als eine kontinuierlich den Raum erfüllende elektromagnetische Wellenstrahlung auffaßt, bleibt die Abnahme der Keimzahl nach einer Exponentialfunktion (z.B. für Escherichia coli) unverständlich. Eine Erklärung des merkwürdigen Verhaltens der Bakterienzellen ergibt sich aber auf Grund der Planckschen Quantentheorie. Nach dieser Theorie kann die elektromagnetische Strahlungsenergie als in Photonen gequantelt aufgefaßt werden (25) (26).

Nach TIMOFEEFF-RESSOVSKY (27) muß als Ursache der bei der UV-Bestrahlung von Mikroorganismen beobachteten Inaktivierung der Zellen die Absorption dieser Strahlungsquanten angesehen werden.

Aus der Tatsache, daß die Zellen von Escherichia coli nach einer e-Funktion inaktiviert werden, kann man schließen, daß die Zerstörung einer solchen Zelle infolge eines einzigen Quantentreffers eintritt. Somit war ein neuer Name für die Theorie der "direkten Inaktivierung" von Mikroorganismen durch UV-Strahlen gefunden: Man sprach jetzt allgemein von der "Treffertheorie".

Nun zeigten aber Versuche, daß eine Zelle von einer Vielzahl derartiger Photonen getroffen werden kann, ohne daß sie wesentlichen Schaden leidet. Es folgt daraus, daß die Zellen von Escherichia coli nur in einem sehr kleinen Bereich ihres Volumens gegenüber den UV-Strahlen (Wellenlänge 2573 Å) diese große Empfindlichkeit aufweisen. Dem strahlungsanfälligen Bezirk kommt demnach - zumindest für die Funktion der Zellteilung - entscheidende Bedeutung zu.

Damit haben wir eine Bestätigung der vorigen Überlegungen gefunden, die zeigten, daß die Inaktivierung von Mikroorganismen durch UV-Strahlen in Zusammenhang mit der im Zellkern (oder dessen Äquivalent) enthaltenen Desoxyribonucleinsäure stehen muß. Das wirksame Photon muß also in einem ganz bestimmten Molekül im Nukleinsäuregerüst des "Zellkerns" absorbiert werden, um die Zelle zu inaktivieren.

Es ist das Verdienst von PASCUAL JORDAN (28), den Versuchsergebnissen WYCKOFFS diese eben geschilderte, anschauliche Deutung gegeben zu haben.

Allerdings kann aus den von WYCKOFF durchgeführten Experimenten nicht geschlossen werden, daß eine Inaktivierung der Coli-Bakterien stets einen Treffer im strahlungsempfindlichen Bezirk der Zelle zur Voraussetzung hat. Es ist durchaus denkbar, daß sehr große Bestrahlungsstärken das Plasma einer Zelle so stark schädigen können, daß sie inaktiviert wird, ohne im Steuerungszentrum getroffen worden zu sein.

Im Jahre 1960 untersuchten BEUKERS und BERENDS (29) die Wirkung ultravioletter Strahlen auf die Nucleinsäuren und deren Basenbestandteile in vitro.

Es wurde festgestellt, daß Thymin in wäßriger Lösung nahezu unempfindlich gegen UV-Bestrahlung ist. Nach der UV-Bestrahlung einer gefrorenen, wäßrigen Thyminlösung wurde jedoch eine Substanz isoliert, die als ein Thymindimerisationsprodukt identifiziert werden konnte.

Fast zur gleichen Zeit veröffentlichten WACKER et al. (30) eine Arbeit über die strahlenchemische Veränderung der Bakterien-Desoxyribonucleinsäure in vivo.

Nach UV-Bestrahlung einer Bakteriensuspension (Testkeim: Enterococcus Stei) konnte eine Verbindung isoliert werden, die mit dem von BEUKERS und BERENDS erhaltenen Thymindimerisationsprodukt identisch ist.

Somit lassen die Ergebnisse dieser beiden Forschungsarbeiten den Schluß zu, daß die inaktivierende Wirkung des UV-Lichtes auf die Zelle überwiegend, wenn nicht ausschließlich ihre Ursache in der strahlenchemischen Umwandlung des Thymins in der Desoxyribonucleinsäure hat.

Unter bestimmten Voraussetzungen können die durch UV-Bestrahlung inaktivierten Mikroorganismen wieder reaktiviert werden. Dies gelingt nach KELLNER (31) durch sofort anschließende Bestrahlung mit sichtbarem Licht (5100 Å).

HOLLAENDER (32) fand heraus, daß auch der Wellenlängenbereich von 3300 Å bis 4800 Å eine Photoreaktivierung herbeiführen könnte. Auf das gleiche Phänomen stieß DULBECCO (33) bei Versuchen mit Bakteriophagen, die nach der Inaktivierung an das Wirtsbakterium adsorbiert wurden.

Eine ebenso interessante Feststellung machten LEMBKE und BÖNICKE (34). Die Ergebnisse ihrer Untersuchungen lassen eine untere Grenze der UV-Bestrahlungsstärke vermuten, bei deren Unterschreitung die inaktivierende Wirkung der "Treffer" durch eine stimulierende Wirkung der im Plasma absorbierten Quanten übertroffen wird, sodaß im Mittel keine Keimzahlerniedrigung, sondern eine Keimzahlvermehrung beobachtet wird. Auch HOLLAENDER (35) macht auf die Möglichkeit einer Aktivierung von Mikroorganismen durch Bestrahlen mit einer "subletalen UV-Dosis" aufmerksam.

Auf Grund all dieser Forschungsergebnisse dürfte die nun folgende Frage für die praktische Anwendung der ultravioletten Strahlen von großem Interesse sein: Können UV-Strahlen bestimmte, mit Mikroorganismen infizierte Medien und Oberflächen sterilisieren oder nicht? Zur Beantwortung dieser Frage müssen viele verschiedene Gesichtspunkte in Betracht gezogen werden, die in der folgenden Problemstellung definiert werden sollen.

B. Problemstellung

UV-Strahlen werden von festen Körpern im allgemeinen absorbiert bzw. reflektiert. Die Sterilisation eines festen Körpers, der innere Oberflächen besitzt, ist mit UV-Strahlen nicht möglich.

Bei der Sterilisation von Flüssigkeiten ist die Tiefe der eindringenden UV-Strahlen von großer Bedeutung. Für die Entkeimung von Milch für Trinkzwecke sind in Deutschland bestimmte Pasteurisierungsverfahren vorgeschrieben, die zum Teil auch für andere Getränke (Bier, Wein und Fruchtsäfte) angewandt werden. Sie führen nicht zur Sterilisation, sondern lediglich zur Reduktion und Selektion des Keimgehaltes (36). Die Entkeimung von Milch durch UV-Strahlen bringt Schwierigkeiten mit sich, denn für das kurzwellige UV-Licht ist Milch nahezu undurchlässig. Außerdem ist die Milch gegenüber UV-Licht nicht völlig unempfindlich: Eine zu starke Bestrahlung verursacht chemische Umsetzungen und unangenehme Geschmacksveränderungen. So steht der ersten Forderung, jeden Flüssigkeitsballen mit einer Mindestdosis zu treffen, die zweite entgegen, daß die UV-Absorption in keinem Flüssigkeitsballen eine gewisse Höchstdosis übersteigen darf (37).

Die Entkeimung von Serum durch UV-Strahlen wäre wünschenswert, um den Zusatz von Chemikalien, die zur Haltbarkeitsverbesserung üblicherweise zugesetzt werden, vermeiden zu können. Allerdings sollte sorgfältig geprüft werden, ob

durch die UV-Bestrahlung nicht außer der erwünschten Inaktivierung der Keime eine störende Veränderung des Serums selbst stattfinden könnte (38).

Durch die Arbeiten FLÜGGES (39) über die Tröpfcheninfektion und die Veröffentlichungen LANGES (40) über die Staubinfektion wurde die aerogene Übertragung von Krankheitserregern bekannt.

Im Jahre 1936 kam von W.F.WELLS und M.W.WELLS (41) der Vorschlag, die Raumluft mit UV-Licht zu bestrahlen, um auf diese Weise die allgemeine aerogene Infektionsrate zu reduzieren.

Die Ergebnisse vieler Forschungsarbeiten weisen darauf hin, daß die Entkeimung der Luft durch UV-Licht abhängig ist von der Art der zu inaktivierenden Keime, von der Art ihrer Verteilung als Schwebekörper, von der Luftfeuchtigkeit, von den Abmessungen des zu entkeimenden Raumes, von der Art der Strahlenquelle und ihrer Anordnung im Raum, von der Gleichmäßigkeit der Bestrahlung und von der Luftbewegung (42).

Für die praktische Anwendung des UV-Lichtes ist wichtig zu wissen, daß der Feuchtigkeitsgrad der Raumluft seine Wirksamkeit beeinflußt. Nach HENNEBERG und KÖHLER (43) entfaltet UV-Licht seine optimale Wirkung bei relativen Feuchten unter 55 %. Höhere Feuchtigkeitsgrade setzen seine Wirkung stark herab. Diese Aussage deckt sich mit den Versuchsergebnissen von W.F.WELLS, der die Abhängigkeit der

inaktivierenden UV-Wirkung von der Luftfeuchtigkeit für Escherichia coli ermittelte (44).

Ein weiterer die Wirkung der UV-Strahlen einschränkender Faktor ist der Staub. Dieser Tatbestand ist für die praktische Raumluftdesinfektion von erheblicher Bedeutung, da mit zunehmendem Staubgehalt ein Ansteigen des Bakteriengehaltes der Raumluft verbunden ist. Die Zahl der in der Luft befindlichen Bakterien und damit auch die Gefahr einer Infektion wird immer da am größten sein, wo sich viele Personen in Räumen aufhalten und so durch dauernde Luftbewegung die Keime durch den Staub aufgewirbelt werden (45).

Durch die Keimzahlreduzierung der "gesamten Umgebung" (Raumluft und Oberflächen des Raumes) mit UV-Strahlen werden pathogene Keime inaktiviert, bevor es zur eigentlichen Infektion kommt.

In den letzten Jahrzehnten sind zahlreiche quantitative Untersuchungen durchgeführt worden, die Auskunft geben über den Prozentsatz der Keim-Inaktivierung in der Raumluft von Schulen, Kindergärten und Kliniken etc.

Das britische "Luft-Hygiene-Komitee" hat unter der Leitung von R.CRUICKSHANK (46) im Jahre 1954 eine sorgfältige Untersuchung der Luftdesinfektion durch UV-Strahlen in Schulen des Bezirkes Southall / London durchgeführt. R.BÖNICKE und H.BAYHA (47) veröffentlichten im Jahre 1951

eine Arbeit über die Raumluftentkeimung mit UV-Strahlen unter Berücksichtigung des Mycobakterium tuberculosis. Auch die Ergebnisse früherer Untersuchungen (W.F. WELLS, 1940, 1942, 1945; B.H.WHISLER, 1940; R.A.HIGGONS, 1943; A.R.DENNINGTON, 1944; O.M.LIDWELL, 1946; R.A.HIGGONS und G.M. HYDE, 1947) bestätigen die Annahme, daß die UV-Bestrahlung die Ausbreitung des Hospitalismus einschränkt.

In vielen Zweigen der Nahrungsmittelindustrie und der pharmazeutischen Industrie, in Hygieneinstituten, Krankenhäusern und Arztpraxen wird dieser wirkungsvollen und dabei sehr wirtschaftlichen Methode zur Keimzahl-Reduzierung der Raumluft und bestimmter Oberflächen besondere Bedeutung beigemessen.

Die Oberflächenbestrahlung mit UV-Licht fand schon seit einiger Zeit in den USA mannigfaltige Anwendung: Gesüßte Konserven, besonders Maiskonserven, wurden durch den Befall von Bacillus stearothermophilus verdorben. Durch UV-Bestrahlung dünner Schichten des zugesetzten Zuckerpulvers wurde eine gute Haltbarkeit der Konserven erreicht. Die Wirkung der UV-Entkeimung konnte noch verbessert werden, indem die Zuckerschichten durch besondere Umwälzverfahren während der UV-Bestrahlung ständig in Bewegung waren (48).

In amerikanischen Bäckereien konnte festgestellt werden, daß durch UV-Bestrahlung der Raumluft, sämtlicher Geräte

und auch der Backwaren das Auftreten der Sporen von Bacillus mesentericus stark reduziert werden konnte (49).

In Gaststätten des gleichen Landes ist die Entkeimung von Trinkgefäßen, Flaschen und Vorratsgefäßen mit UV-Strahlen weit verbreitet (50).

Der Einfluß zusätzlicher UV-Bestrahlung ist beim Fleisch weitgehend untersucht worden. Sämtliche an der Oberfläche sitzenden Bakterien sollen durch UV-Bestrahlung vernichtet werden; jedoch gelingt es nicht, die in etwas tieferen Schichten und Falten der Fleischprobe sitzenden Keime mit UV-Strahlen zu treffen. Von diesen Stellen aus erfolgt zwangsläufig ein allmählicher Befall mit zersetzenden Keimen (51).

EWEST und LEICHNER (52) berichteten, daß eine UV-Bestrahlung dumpfig gewordenen Getreides den Bakterien- und Schimmelbefall beseitigt, dadurch dem Getreide den dumpfigen Geschmack nimmt und es wieder genußfähig macht. Wegen der geringen Effektivität dieses Bestrahlungsvorganges muß das Getreide in dünnen Schichten ausgebreitet werden und dabei so bewegt werden, daß jedes Korn möglichst allseitig der Bestrahlung ausgesetzt wird.

Dem §2 Absatz 1 der deutschen Lebensmittelbestrahlungsverordnung vom 19.12.1959 ist zu entnehmen, daß die UV-Entkeimung der Oberflächen auch von Obst- und Gemüseerzeugnissen und von Hartkäse bei der Lagerung zugelassen ist.

Obgleich die UV-Bestrahlung eine zur Entkeimung von Oberflächen weitverbreitete Methode ist, fehlen bis heute Arbeiten, die Anhaltspunkte über das Ausmaß der Keim-Inaktivierung auf verschiedenen Oberflächen durch UV-Strahlen liefern.

In dem folgenden experimentellen Teil der Arbeit soll die Keim-Inaktivierung auf bestimmten, infizierten Testoberflächen in Abhängigkeit von der Bestrahlungsdauer und dem Abstand der Testoberflächen vom UV-Strahler quantitativ ermittelt werden.

Die erhaltenen Versuchsergebnisse räumen die Möglichkeit einer gezielten Anwendung der UV-Strahlen zur Eindämmung des "Staphylokokken-Hospitalismus" ein, da als Modell der Testkeim Micrococcus pyogenes var. aureus haemolyticus SG 511 diente.

C. Experimenteller Teil

I. Messung der Bestrahlungsstärke des benutzten UV-Strahlers

a) Technische Daten des UV-Strahlers

Als UV-Quelle wurde ein stabförmiger Quecksilber-Niederdruck-Brenner mit aktivierten Glühelektroden (aus UV-Spezialglas, ozonfrei) der Firma "Original Hanau m.b.H." benutzt. Die UV-Röhre ist gekennzeichnet durch folgende Angaben: STERISOL HANAU; F 1137, L 5; NN 30/89, VK

Abb. 1 zeigt das benutzte "Sterisol-Entkeimungsgerät".

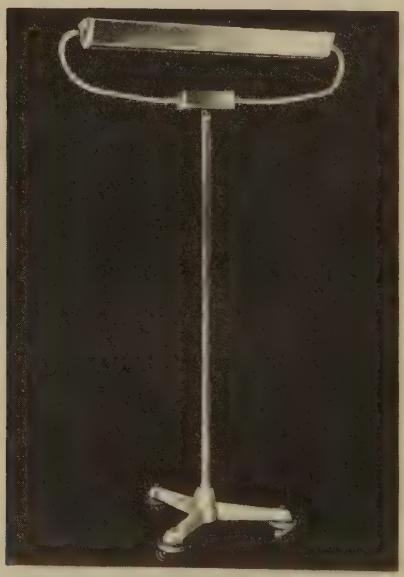


Abb. 1

Die spektrale Energieverteilung des UV-Strahlers ist aus Tabelle 1 zu entnehmen (53).

Tabelle 1:

Relative Intensität

Wellenlänge in nm		Wellenlänge in nm	
248	0,1	313	2,8
254	100,0	334	0,1
265	0,9	366	2,2
276	0,1	405/408	1,6
280	0,1	436	1,1
289	o,1	546	1,6
297	0,6	577/579	0,5
302	0,4		

1.) Definition der Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke ist der Quotient aus dem auf eine Fläche auftreffenden Strahlungsfluß und der bestrahlten Fläche (54).

$$\left[E\right] = \frac{W}{cm^2}$$

E = Bestrahlungsstärke

W = Strahlungsfluß in Watt

2.) Definition der Bestrahlungsdosis

Die Bestrahlungsdosis ist das Produkt aus der Bestrahlungsstärke und der Dauer des Bestrahlungsvorganges (55).

$$\left[H\right] = \frac{W \quad sec}{cm^2}$$

H = Bestrahlungsdosis

Die zur Entkeimung verwendeten UV-Strahler sind meist Quecksilberdampfniederdruckstrahler, deren Strahlungsenergie bis zu 60 % auf die Wellenlänge 2537 Å entfällt (56). Nach SAUTER (57) werden etwa 60 % der aufgenommenen Leistung in Strahlung umgewandelt, 40 % in Wärme. Von der Strahlungsenergie sollen etwa 80 % auf die Linie 2537 Å entfallen, 10 % auf die Linie 1850 Å. Die Strahlungsleistungen der Linien 3125 Å, 3650 Å, 4047 Å und 4358 Å sind so gering, daß sie unberücksichtigt bleiben können.

Somit werden nach SAUTER etwa 48 % der zugeführten elektrischen Energie in Strahlung der Wellenlänge 2537 Å umgewandelt. Diese Wellenlänge liegt, wie schon erwähnt, dem Maximum der "inaktivierenden Wirkungskurve" sehr nahe.

b) Technische Daten der zur Messung benutzten Geräte

1.) Thermoelement der Firma "Hilger and Watts"

Typ und Lieferungs-Nr. : FR 16.301 / 60312

Empfänger : 2 Elemente, (ein Element geschützt)

D.C.Empfindlichkeit : 29 μ V / μ W; 9 x 0,5 mm = 4,5 mm^2

D.C.Widerstand : 240 Ohm, jedes Element

Einstellzeit : 0,1 sec

Fenster : Spectrosil

Spektrale Empfindlichkeit: 0,18 - 3,4 μ

2.) Digital-Voltmeter "M 41A" der Firma "Wagner"

Meßbereiche und Eingangswiderstände: 2 mV; ca. 4 MOhm (1 μ V/Ziffernschritt) 20 mV; 40 MOhm (10 μV/Ziffernschritt)

c) Messung der Bestrahlungsstärke

Die Bestrahlungsstärke der benutzten UV-Lampe wurde am Lichttechnischen Institut der Technischen Universität Berlin *) gemessen.

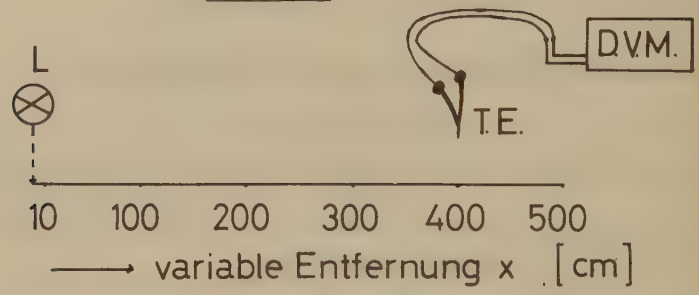
Sämtliche Bestrahlungsstärken wurden bei 223 V gemessen; der Meßwinkel betrug jeweils 90°.

*) Die Messungen zur Eichung der UV-Lampe wurden mit freundlicher Genehmigung
Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-J. Hellwigs,
dem Direktor des Lichttechnischen Institutes, vorgenommen.

1.) Gemessene Bestrahlungsstärke

Den Meßaufbau zur Eichung der UV-Lampe gibt folgende Skizze wieder:

Skizze 1:



L = UV-Lampe — E = Bestrahlungsstärke

T.E. = Thermoelement — E = f(x)

D.V.M. = Digital-Voltmeter

Die bestrahlte Fläche des Thermoelementes betrug 4,5 mm^2. Die Bestrahlungsstärken, die einmal mit und einmal ohne Reflektor bei jeweils gleichem Abstand gemessen wurden, sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2:

Abstand	Bestrahlungsstärke E	
cm	mit Reflektor	ohne Reflektor
10	264	179,1
100	42	21,5
200	14	7,8
400	4	2,8
500	2,6	2,1

2.) Errechnete Bestrahlungsstärke

Bei allen durchgeführten Versuchen betrug die Flächeneinheit der Testoberflächen 1 cm^2. Aus diesem Grunde mußten zur Berechnung der Bestrahlungsstärke, die auf die Flächeneinheit von 1 cm^2 trifft, folgende Daten berücksichtigt werden:

D.C. Empfindlichkeit: 29 μV/1 μW; 9 x 0,5 mm = 4,5 mm^2 *)

$$\left[E \right] = \frac{F \cdot \mu V}{cm^2}$$

$$F = \frac{1\ \mu W \cdot 0{,}45\ cm^2}{29\ \mu V\ 1\ cm^2}$$

$$\left[E \right] = \frac{\mu W}{cm^2}$$

Die errechneten Bestrahlungsstärken (einmal mit und einmal ohne Reflektor bei jeweils gleichem Abstand) sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

$$\left[E \right] = \frac{m\ W}{cm^2}$$

*) Siehe technische Daten des Thermoelementes der Firma "Hilger and Watts".

Tabelle 3:

Abstand	Bestrahlungsstärke E	
cm	mit Reflektor	ohne Reflektor
10	202,289	137,244
100	32,178	16,467
200	10,729	5,978
400	3,067	2,156
500	2,000	1,600

Bei Verwendung eines Reflektors für die UV-Quelle ergaben sich durch Bündelung der UV-Strahlen höhere Bestrahlungsstärken, was aus der graphischen Darstellung Abb. 2 zu entnehmen ist. Die graphische Darstellung dieser Meßwerte zeigt, daß bei konstantem Strahlungsfluß die Bestrahlungsstärke mit zunehmender Entfernung stark abnimmt.

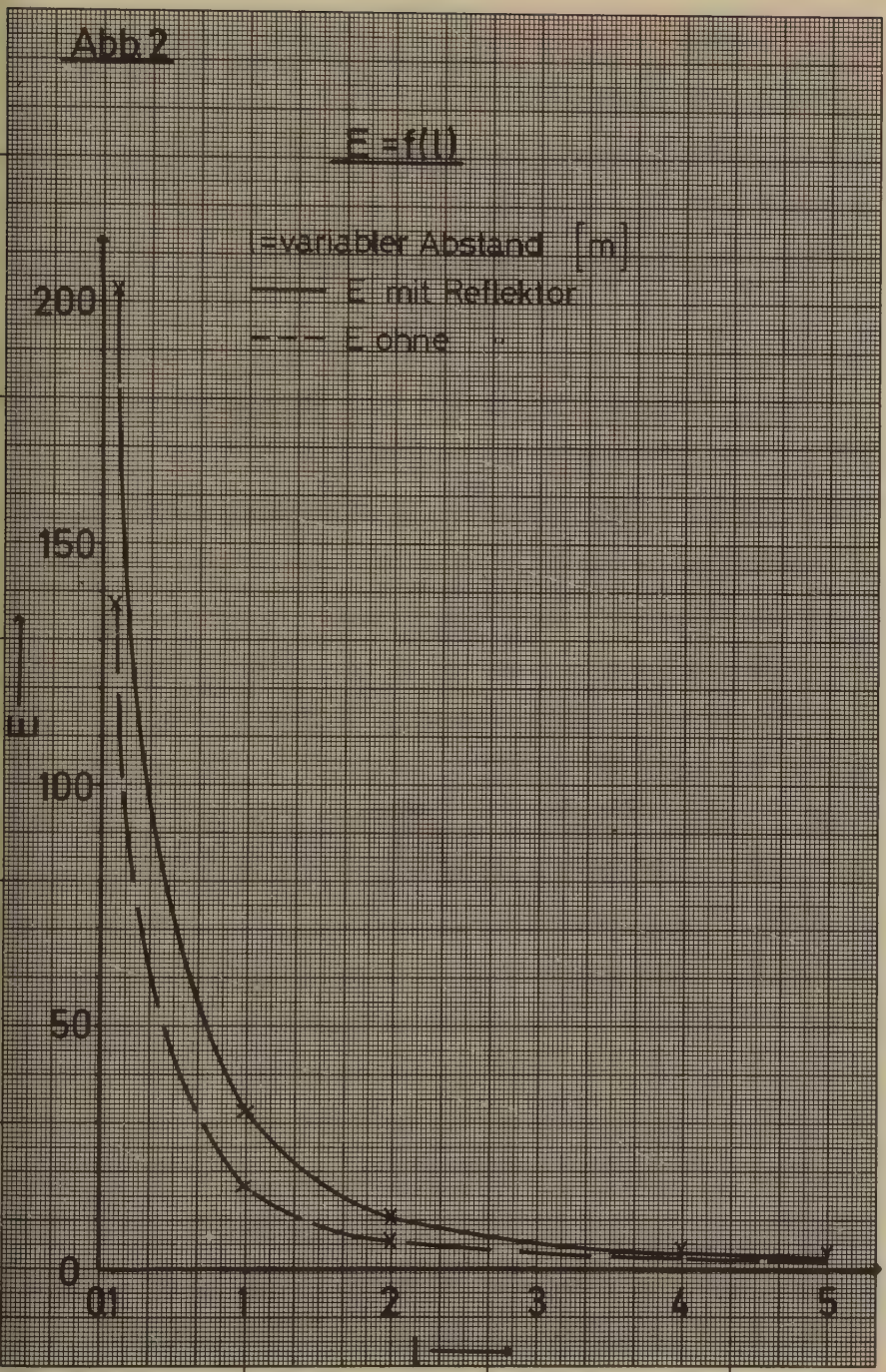


Abb 2
E = f(l)
l = variabler Abstand [m]
E mit Reflektor
E ohne
200
150
100
50
0
E
0
1
2
3
4
5
l

3.) Errechnete Bestrahlungsdosis

Die Bestrahlungsdosis wurde nach folgender Beziehung ermittelt:

$$H = E \cdot t \left[\frac{m\,W \cdot sec}{cm^2} \right]$$

a) Bei vorliegendem Meßaufbau betrug der Abstand des Thermoelementes zum Mittelpunkt der UV-Quelle 10 cm.

Im praktischen Versuch wurde die Bestrahlungsdauer variiert; entsprechend stieg die Bestrahlungsdosis pro Zeiteinheit linear an.

b) Bei vorliegendem Meßaufbau wurde der Abstand des Thermoelementes zur UV-Quelle variiert. Die Meßstrecken betrugen 1 m, 2 m, 4 m und 5 m.
In den praktischen Versuchen wurde die Bestrahlungsdauer jeweils konstant gehalten. Die bei den verschiedenen Abständen auftretenden Bestrahlungsdosen sind in der Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4:

Abstand	Bestrahlungsdauer: 5 min	
m	Bestrahlungsdosis H	
	mit Reflektor	ohne Reflektor
1	9,653	4,940
2	3,219	1,793
4	0,920	0,647
5	0,600	0,480

Abstand	Bestrahlungsdauer: 15 min	
m	Bestrahlungsdosis H	
	mit Reflektor	ohne Reflektor
1	28,960	14,820
2	9,656	5,380
4	2,760	1,940
5	1,800	1,440

Aus der graphischen Darstellung Abb. 3 ist zu entnehmen, daß bei konstanter Bestrahlungsdauer (5 Min. bzw. 15 Min.) die Bestrahlungsdosis mit der Entfernung stark abnimmt. Der beträchtliche Abfall der Bestrahlungsdosis durch Entfernung des Reflektors von der UV-Quelle ist besonders deutlich zu erkennen.

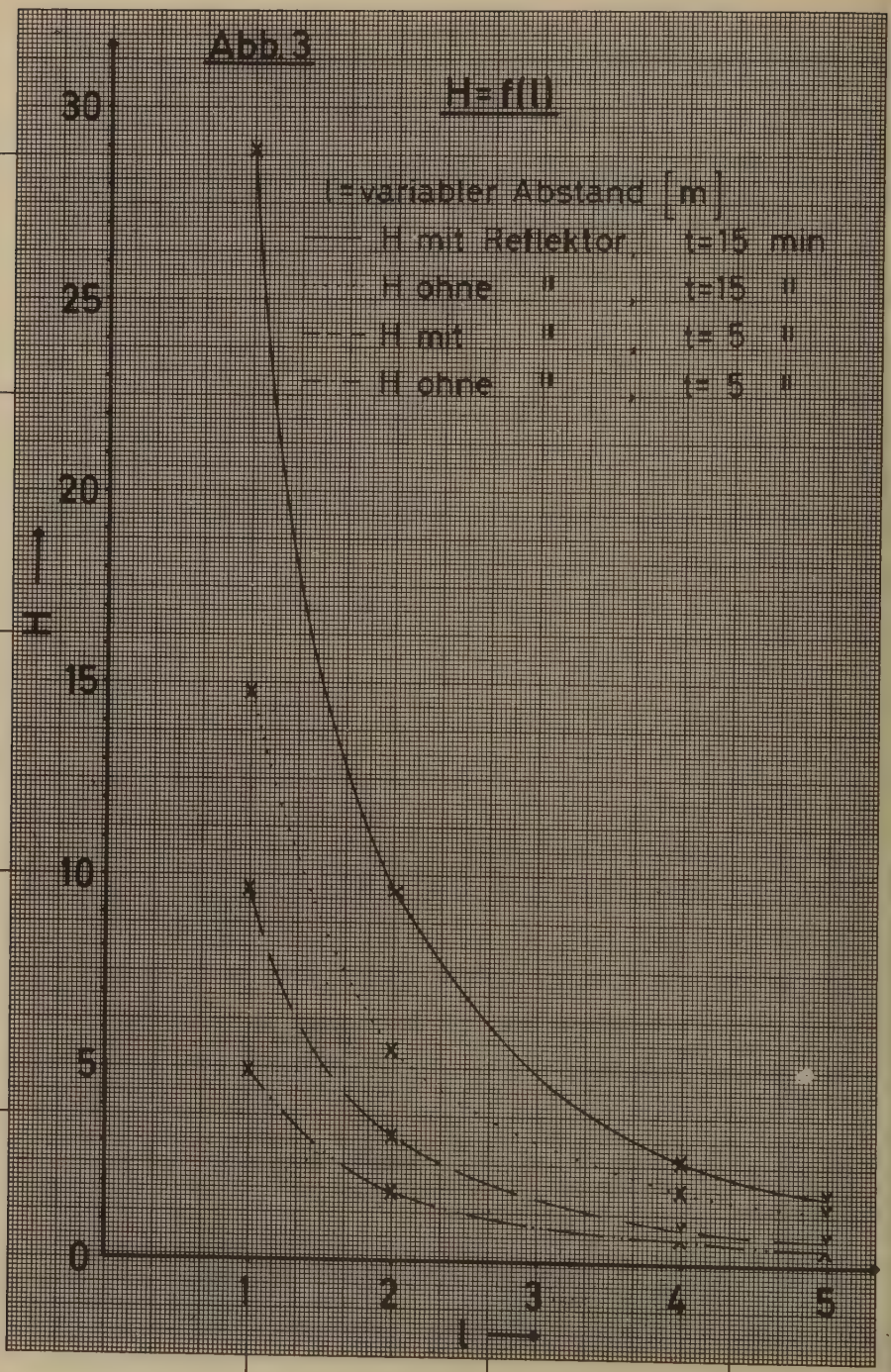


Abb 3
H = f(l)
l = variabler Abstand [m]
H mit Reflektor, t=15 min
H ohne " , t=15 "
H mit " , t= 5 "
H ohne " , t= 5 "
30
25
20
15
10
5
0
H
1
2
3
4
5
l

II. Charakterisierung der benutzten Materialien

a) Resopal ®:

Resopal-Schichten (58) sind dekorative Kunststoffplatten, die aus einer Trägerschicht von phenolharzgetränkten Natroncellulosepapieren und einer Deckschicht aus melaminharzdurchtränkten Edelsulfitcellulosepapieren bestehen. Beide Schichten werden bei hohem Druck und hoher Temperatur zu homogenen Platten zusammengepreßt. Resopal ist leicht abwaschbar, unempfindlich gegen Wasser, Alkohol, Säuren etc.

Melaminharze sind Duroplaste aus der Gruppe der Aminoplaste. Man stellt sie her durch Polykondensation von Melamin (2, 4, 6-Triamino-1, 2, 5-triazin) mit Formaldehyd. Die entstehende Hexamethylolverbindung kondensiert dann unter Wasserabspaltung und Bildung von Ätherbrücken zu einem raumvernetzenden Kunstharz. Beim Erwärmen der Melaminharze auf 120 bis 135°C gehen sie in unlösliche und unschmelzbare Produkte über.

b) dc-fix ®:

dc-fix Folien sind selbstklebende Deko-Folien auf Basis von weichgemachtem PVC (siehe unter PVC).

c) PVC ®:

Reines PVC (59) ist ein Polymerisationsprodukt aus Vinylchlorid.

Es wird grundsätzlich zwischen Hart-PVC und Weich-PVC unterschieden. Hart-PVC wird ohne Zusatz von Weichmachern und Füllstoffen hergestellt, Weich-PVC dagegen mit Zusatz von Weichmachern. Weich-PVC ist in dünnen Folien im Handel und dient als Fußboden- und Möbelbelag. In dieser Arbeit diente eine Weich-PVC-Folie als Testmaterial.

Die Herstellung von Weich-PVC geschieht durch innige Vermischung von PVC-Pulver mit einem Weichmacher zu einer dicken Paste, die man dann durch Erwärmen auf 170 bis 180°C zu einer völlig homogenen Masse gelieren läßt. Die Weichheit und Elastizität des Materials ist von der Art und Menge des Weichmachers abhängig.

d) Linoleum ®:

Linoleum (60) ist ein elastischer Fußbodenbelag, der aus grobmaschigem Jutegewebe besteht, auf das man einseitig Linoleumdeckmasse unter Druck heiß aufgebracht hat. Für die Herstellung von Linoleumdeckmasse wird Leinöl oder Sojabohnenöl mit 2 % Bleioxid längere Zeit erhitzt und anschließend mit Luft zu einer rotbraunen, klaren Masse, dem Linoxyn, oxydiert. Dies wird mit Kolophonium und Kopalen zusammengeschmolzen.

Der so erhaltene Linoleumzement wird mit Korkmehl, Holzmehl und Pigmenten zur Linoleumdeckmasse innig gemischt. Für einfarbiges Linoleum wird die Deckmasse durch Walzen bei etwa 110°C auf das Jutegewebe aufgepreßt. Anschließend

wird die Bahn je nach Dicke längere Zeit bei 45 bis 60°C getrocknet. Bei dem Trockenprozess vernetzt sich das Linoxyn oxydativ weiter.

e) Tapete:

Als Testmaterial diente eine nicht abwaschbare Tapete.

f) Furnierholz:

Für diese Arbeit wurde Ahorn-Furnierholz benutzt.

Die Oberflächen aller in dieser Arbeit benutzten Testmaterialien waren nicht behandelt.

III. Methode der Versuchsanordnungen

Der Testkeim aller in dieser Arbeit durchgeführten Versuche war Micrococcus pyogenes var. aureus haemolyticus SG 511 und als Testoberflächen dienten: Resopal, dc-fix, PVC, Linoleum, Tapete und Furnierholz.

Zunächst wurde eine Kultur vom eben genannten Testkeim auf einem Agar-Nährboden (Kolle-Schale) angesetzt. Nach 26 Stunden Lagerung der Kolle-Schale im Brutschrank bei 37 °C wurde die Kultur mit 10 ml Bouillon abgeschwemmt und durch Glaswolle filtriert. Dann wurden 15 Felder von je 1 cm^2 Fläche des jeweiligen Testmaterials mit 0,1 ml der gewonnenen Bakterien-Suspension unter Zusatz von 0,1 ml Bouillon gleichmäßig mit einem Glasstab infiziert.

Beim Resopal, dc-fix, PVC und Linoleum war eine gleichmäßige Infizierung der Oberfläche nur durch Zusatz von 1 % Tween 80 zur Bouillon möglich. Tween 80 bewirkte als Emulgator eine Herabsetzung der Oberflächenspannung der Bakterien-Suspension; folglich wurde eine bessere Benetzung der betreffenden Testoberflächen erreicht.

Dann wurde die infizierte Oberfläche zur Trocknung ca. 24 Stunden im Exsikkator unter Lichtabschluß aufbewahrt. Am nächsten Tag wurden je nach Versuchsanordnung vier Feldergruppen zu je drei Feldern mit UV-Licht bestrahlt; die restlichen drei Felder wurden nicht bestrahlt.

Abb. 4 zeigt die Anordnung der Feldergruppen auf der Testoberfläche.

Abb. 4:

A	B	C	1. Feldergruppe
D	E	F	2. "
G	H	I	3. "
K	L	M	4. "
N	O	P	5. "

Nach dem Bestrahlungsvorgang wurde jedes einzelne Feld in ein steriles Glasgefäß von 30 ml Inhalt gebracht, das 3 ml eines Puffergemisches (Zusammensetzung: 20 ml KH_2PO_4 0,1 m = 13,60 g/l; 80 ml Na_2HPO_4 0,1 m = 17,80 g/l; pH = 7,0 - 7,4) enthielt und zur Hälfte mit kleinen Glasperlen gefüllt war. Nun wurden die sogenannten Glasperlgefäße zur quantitativen Ablösung der inaktivierten und nicht inaktivierten Keime 15 Minuten in einer Schüttelmaschine hin- und herbewegt.

Aus den erhaltenen Bakterien- Suspensionen wurden sodann 15 Verdünnungsreihen bis zu einer Verdünnung von 10^{-6} mit dem gleichen Puffergemisch hergestellt.

Anschließend wurden alle Verdünnungsstufen mit ca. 20 ml flüssigen Agars von 46°C in Petri-Schalen gegossen und bis zum Erstarren des Agar-Suspensions-Gemisches kreisend bewegt. Nach zwei Tagen Lagerung im Brutschrank bei 37°C wurden die Staphylokokken-Kolonien mikroskopisch gezählt und tabellarisch festgehalten.

Schließlich wurde mit den erhaltenen Werten die prozentuale Inaktivierung der Staphylokokken auf der jeweiligen Testoberfläche durch UV-Bestrahlung errechnet.

IV. Untersuchung des Einflusses verschiedener Bestrahlungszeiten auf die Keim-Inaktivierung (1. Versuch)

Zu diesem Zweck wurden die Testoberflächen PVC und Linoleum mit einer Staphylokokken-Bouillon-Suspension wie oben erwähnt infiziert.

Nach dem Trocknen im Exsikkator wurden die Oberflächen bei einem Abstand von 10 cm vertikal und mit Reflektor bestrahlt. Folgende Bestrahlungszeiten wurden durchgeführt: 1, 2, 5 und 10 Minuten.

V. Untersuchung des Einflusses verschiedener Abstände (Testoberfläche zum UV-Strahler) auf die Keim-Inaktivierung

a) Bestrahlungsdauer: 5 Minuten (2. Versuch)

Als nächstes galt es die Abhängigkeit der Inaktivierung des untersuchten Keimes vom Abstand der infizierten Oberfläche zur UV-Quelle zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wurden die Testoberflächen Resopal, dc-fix, PVC und Linoleum in der gleichen Weise mit der schon erwähnten Staphylokokken-Suspension infiziert und getrocknet. Die Bestrahlungsdauer von 5 Minuten wurde konstant gehalten und die Abstände der Oberflächen von der UV-Quelle betrugen jeweils 1 m, 2 m, 4 m und 5 m. Die Bestrahlung wurde mit Reflektor vorgenommen.

b) Bestrahlungsdauer: 15 Minuten (3. Versuch)

In diesem Versuch wurden die Testoberflächen Resopal, dc-fix, PVC, Linoleum, Tapete und Furnierholz wie beschrieben infiziert und getrocknet. Die Bestrahlung erfolgte ebenfalls mit Reflektor und die Abstände der Oberflächen von der UV-Quelle betrugen gleichfalls 1 m, 2 m, 4 m und 5 m.

VI. Untersuchung des Einflusses einer Bestrahlung ohne Reflektor auf die Keim-Inaktivierung

a) Bestrahlungsdauer: 5 Minuten (4. Versuch)

Die Anordnung dieses Versuches entsprach der des 2. Versuches mit dem einzigen Unterschied, daß die Oberflächen PVC und Linoleum ohne Reflektor bestrahlt wurden.

b) Bestrahlungsdauer: 15 Minuten (5. Versuch)

Hier entsprach die Versuchsanordnung der des 3. Versuches. Die Oberflächen PVC und Linoleum wurden ebenfalls ohne Reflektor bestrahlt.

Sämtliche Versuche wurden bei Zimmertemperatur und bei 45 bis 50 % relativer Luftfeuchtigkeit durchgeführt.

VII. Zusammenstellung der prozentualen Inaktivierungsraten der Testoberflächen

1. Versuch: Bestrahlung von Linoleum und PVC mit UV-Licht (mit Reflektor)

Abstand: 10 cm

Bestrahlungsdauer: 1, 2, 5 und 10 Minuten

Es wurden jeweils drei Versuche (a, b, c) durchgeführt und aus den erzielten Ergebnissen der Mittelwert bestimmt; dieser Mittelwert wurde dann auf- bzw. abgerundet (m).

Tabelle 5:

A. Linoleum

Bestrahlungsdauer	Prozent. Inaktivierungsraten			
min	a	b	c	m
1	97,08	93,12	95,19	95,00
2	98,42	96,01	96,63	97,00
5	98,95	97,35	98,15	98,00
10	99,56	98,48	98,90	99,00

B. PVC

Bestrahlungsdauer	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	96,40	98,79	98,60	98,00
2	99,90	99,95	99,91	100,00
5	99,94	99,98	99,96	100,00
10	99,98	100,00	99,99	100,00

Abb. 5 gibt die graphische Darstellung des vorliegenden Versuches wieder, wobei die prozentuale Inaktivierungsrate als IR (%) = f(t) aufgetragen ist.

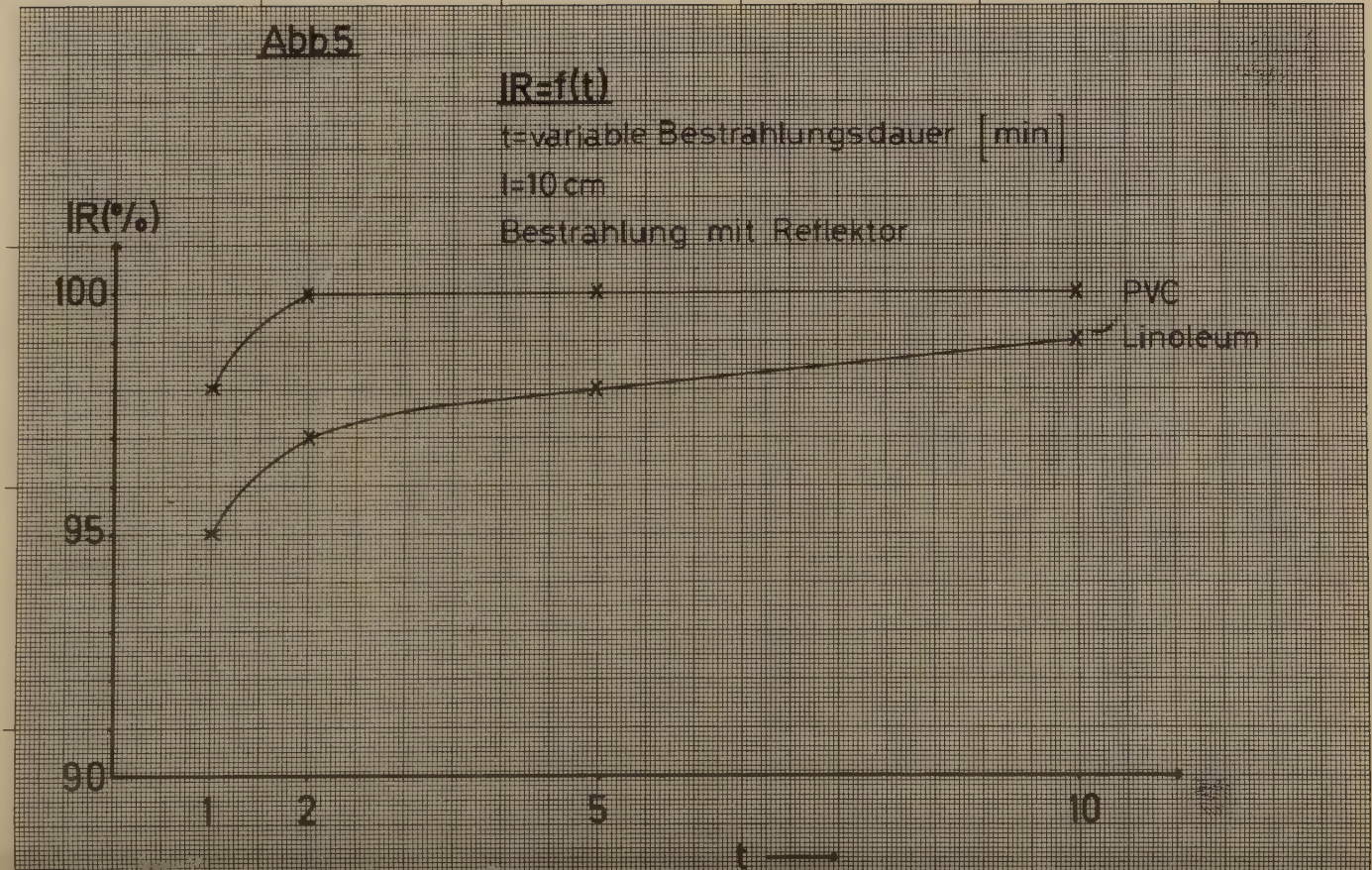


Abb.5
IR=f(t)
t=variable Bestrahlungsdauer [min]
l=10 cm
Bestrahlung mit Reflektor
IR(%)
100
95
90
1
2
5
10
t
PVC
Linoleum

2. Versuch: Bestrahlung von Resopal, dc-fix, PVC und Linoleum mit UV-Licht (mit Reflektor)

Bestrahlungsdauer: 5 Minuten; Abstand: 1, 2, 4 und 5 Meter

Tabelle 6:

A. Resopal

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
m	a	b	c	m
1	99,88	99,90	99,91	100,00
2	99,76	99,78	99,85	100,00
4	91,99	93,81	95,63	94,00
5	84,04	86,94	90,05	87,00

B. dc-fix

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	99,81	99,82	99,70	100,00
2	99,62	99,55	99,08	99,00
4	94,54	91,91	86,90	91,00
5	73,69	81,21	83,81	80,00

C. PVC

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	99,05	99,76	99,00	99,00
2	96,65	99,09	97,11	98,00
4	83,34	83,85	82,91	83,00
5	81,77	75,18	80,99	79,00

D. Linoleum

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	94,37	91,57	94,91	94,00
2	93,53	85,59	91,42	90,00
4	73,66	67,85	75,00	72,00
5	73,23	61,77	69,76	65,00

Die graphische Darstellung dieses Versuches ist in Abb. 6 ersichtlich; die prozentuale Inaktivierungsrate ist als IR (%) = f(l) aufgetragen.

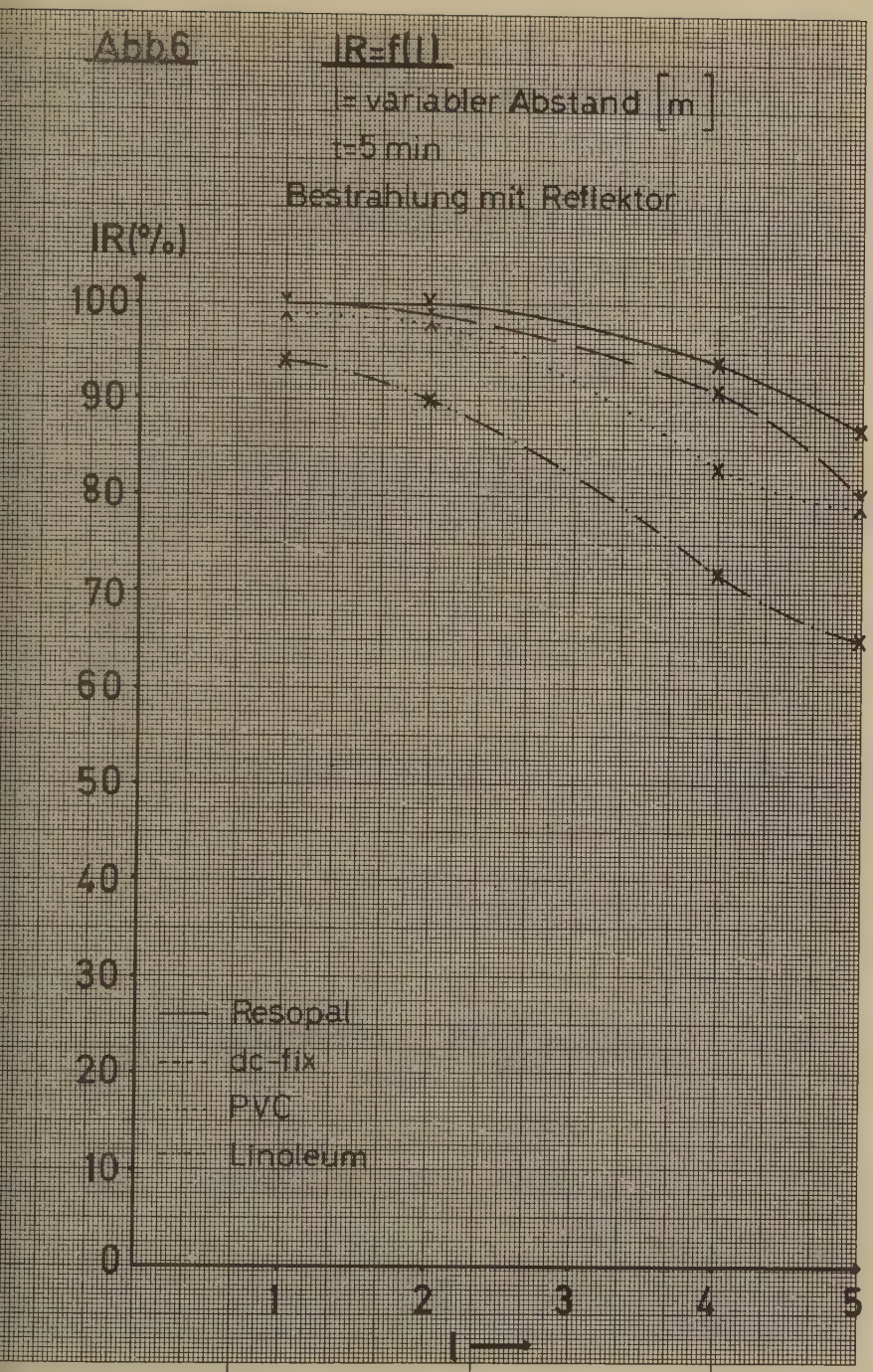


Abb.6
IR=f(l)
l= variabler Abstand [m]
t=5 min
Bestrahlung mit Reflektor
IR(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
Resopal
dc-fix
PVC
Linoleum
1
2
3
4
5
l

3. Versuch: Bestrahlung von Resopal, dc-fix, PVC, Linoleum, Tapete und Furnierholz mit UV-Licht (mit Reflektor)

Bestrahlungsdauer: 15 Minuten

Abstand: 1, 2, 4 und 5 Meter

Tabelle 7:

A. Resopal

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
m	a	b	c	m
1	99,84	99,91	99,99	100,00
2	99,87	99,77	99,96	100,00
4	99,32	99,86	99,59	100,00
5	98,39	99,46	99,61	99,00

B. dc-fix

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	99,97	99,89	99,97	100,00
2	99,96	99,86	99,95	100,00
4	99,44	99,61	99,88	100,00
5	98,25	99,39	99,56	99,00

C. PVC

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	99,80	99,88	99,69	100,00
2	98,63	99,49	98,34	99,00
4	98,44	98,03	97,78	98,00
5	96,16	97,12	95,90	96,00

Tabelle 7:

D. Linoleum

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	97,28	97,07	96,88	97,00
2	95,06	95,12	94,71	95,00
4	90,09	93,75	93,11	92,00
5	87,37	93,62	90,33	90,00

E. Tapete

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	86,15	84,38	80,47	84,00
2	85,07	75,86	73,54	78,00
4	63,64	56,54	51,27	57,00
5	60,78	50,57	45,09	52,00

F. Furnierholz

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	71,96	73,94	30,83	59,00
2	51,49	73,28	21,05	49,00
4	6,90	36,89	10,15	18,00
5	4,60	34,43	7,85	16,00

Abb. 7 gibt die graphische Darstellung des vorliegenden Versuches wieder, wobei die prozentuale Inaktivierungsrate als IR (%) = f(l) aufgetragen ist.

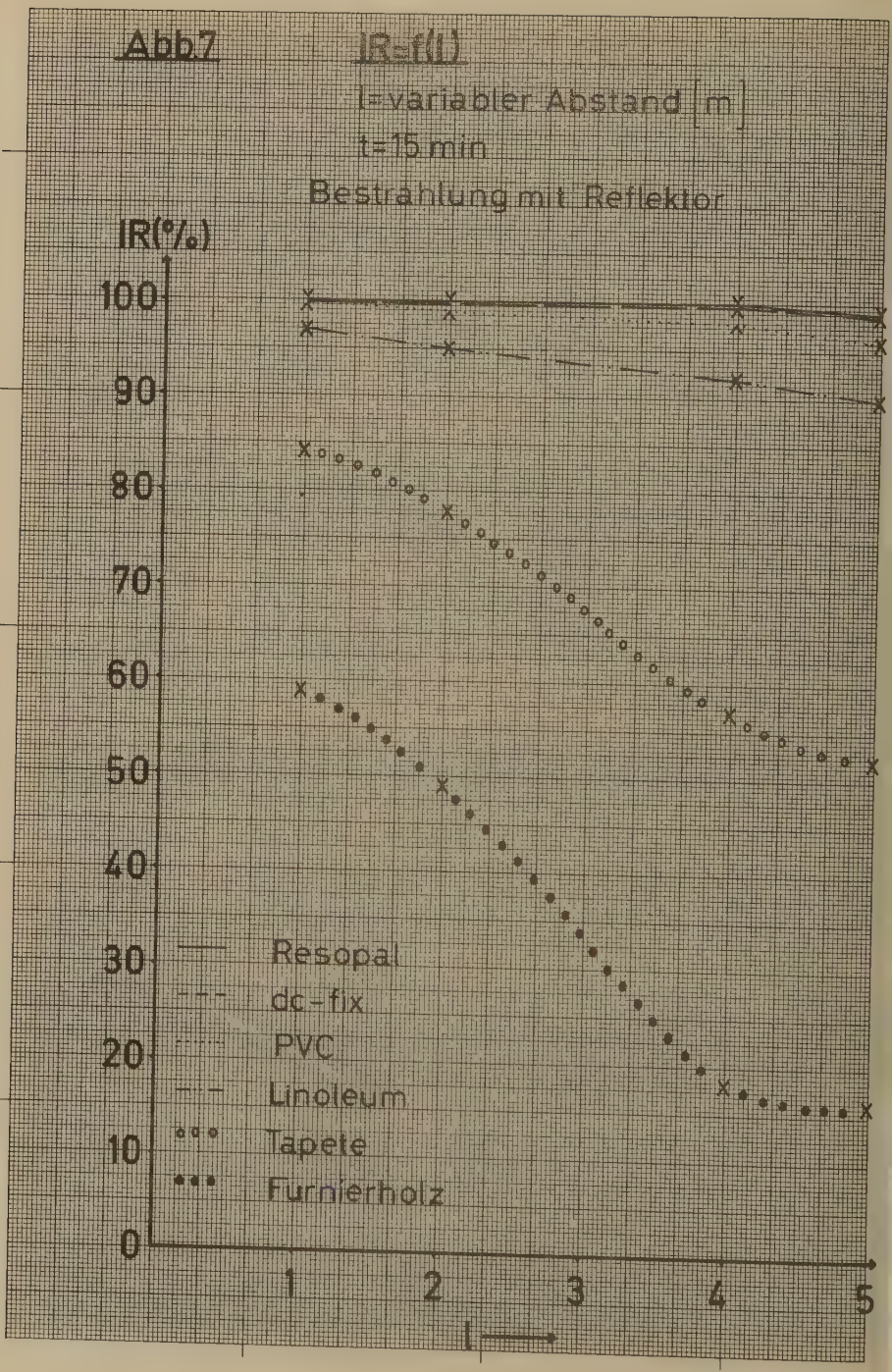


Abb7
IR=f(l)
l=variabler Abstand [m]
t=15 min
Bestrahlung mit Reflektor
IR(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
2
3
4
5
l
Resopal
dc-fix
PVC
Linoleum
Tapete
Furnierholz

4. Versuch: Bestrahlung von PVC und Linoleum mit UV-Licht (ohne Reflektor)

Bestrahlungsdauer: 5 Minuten

Bestrahlungsdosis: Siehe Tabelle 4.

Tabelle 8:

A. PVC

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
m	a	b	c	m
1	98,02	97,10	98,91	98,00
2	97,80	90,02	98,50	95,00
4	73,97	68,58	78,20	74,00
5	62,75	52,96	63,85	60,00

B. Linoleum

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	86,21	88,90	93,12	89,00
2	84,83	87,82	90,79	88,00
4	54,45	63,36	63,46	60,00
5	42,19	44,45	53,58	47,00

Aus Abb. 8 ist die graphische Darstellung des vorliegenden Versuches zu entnehmen; die prozentuale Inaktivierungsrate ist als IR (%) = f(H) aufgetragen.

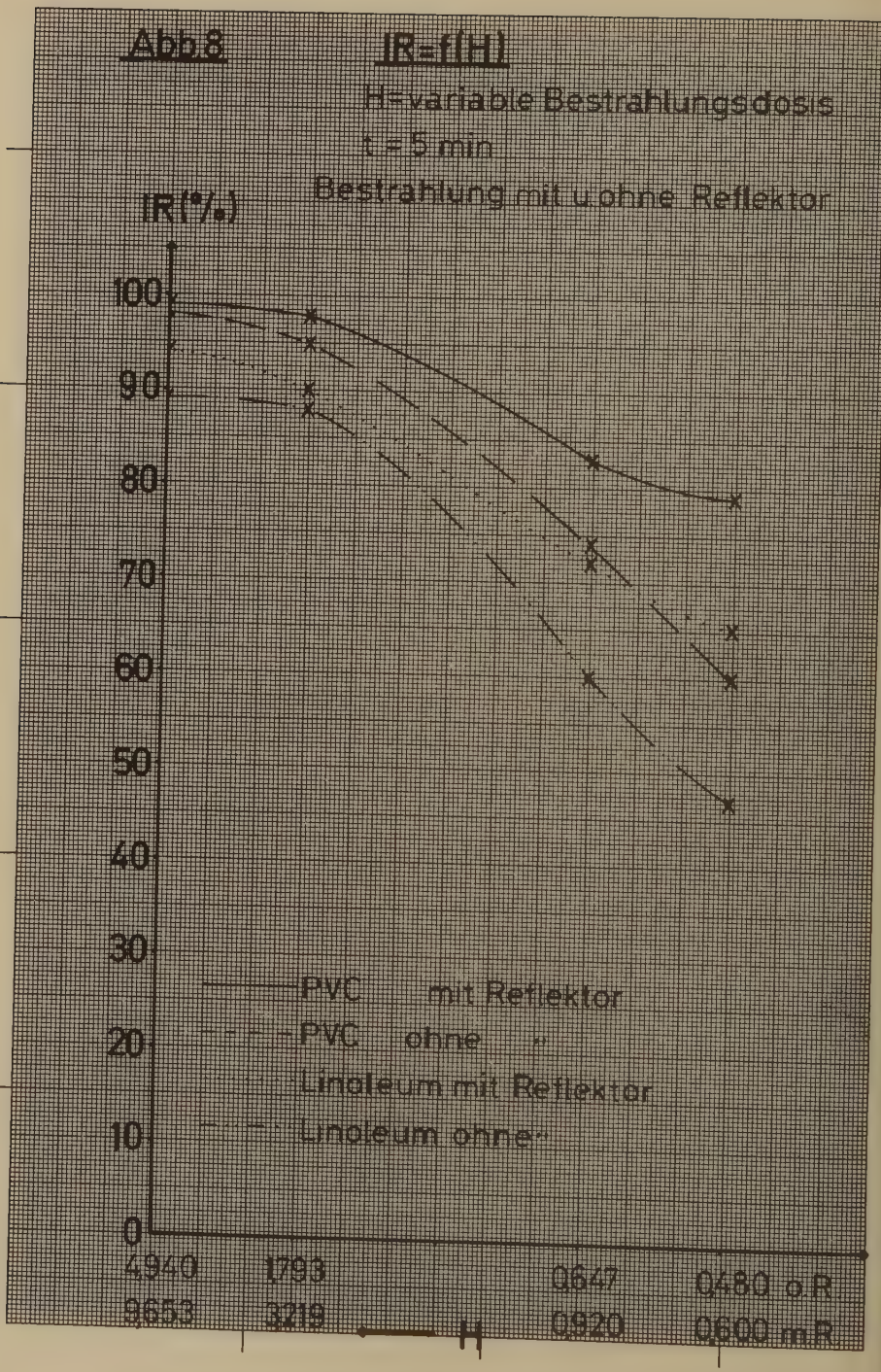


Abb 8
IR=f(H)
H=variable Bestrahlungsdosis
t = 5 min
Bestrahlung mit u ohne Reflektor
IR(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
PVC mit Reflektor
PVC ohne "
Linoleum mit Reflektor
Linoleum ohne "
4940
9653
1793
3219
0647
0920
0480 o R
0600 m R
H

5. Versuch: Bestrahlung von PVC und Linoleum mit UV-Licht (ohne Reflektor)

Bestrahlungsdauer: 15 Minuten

Bestrahlungsdosis: Siehe Tabelle 4.

Tabelle 9:

A. PVC

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
m	a	b	c	m
1	99,75	99,08	98,53	99,00
2	99,53	97,32	97,15	98,00
4	96,92	95,96	90,98	95,00
5	95,36	94,91	89,06	93,00

B. Linoleum

Abstand	Prozent. Inaktivierungsraten			
1	95,45	97,51	95,73	96,00
2	91,58	94,80	94,69	94,00
4	82,12	88,28	84,99	85,00
5	76,68	83,24	79,10	80,00

Die graphische Darstellung ist in Abb. 9 ersichtlich, wobei die prozentuale Inaktivierungsrate als IR (%) = f(H) aufgetragen ist.

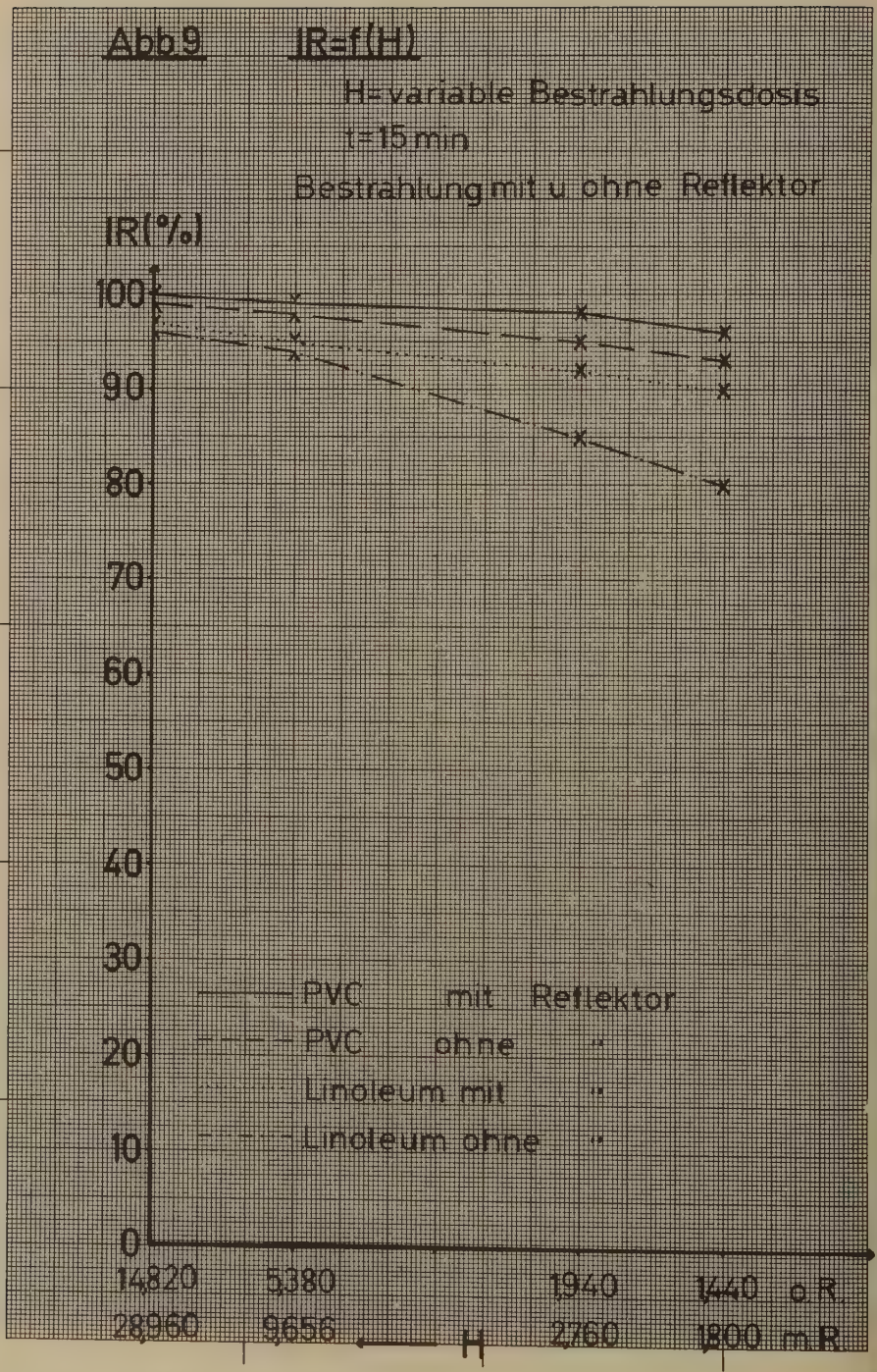


Abb 9 IR=f(H)
H=variable Bestrahlungsdosis
t=15 min
Bestrahlung mit u. ohne Reflektor
IR(%)
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
PVC mit Reflektor
PVC ohne "
Linoleum mit "
Linoleum ohne "
14820 5380 1940 1440 o.R.
28960 9656 2760 1800 m.R.
H

VIII. Auswertung der ermittelten prozentualen Inaktivierungsraten der untersuchten Oberflächen

a) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 5

Bei der Bestrahlungszeit von 1 Minute zeigt Linoleum eine Inaktivierungsrate von ca. 95 % und PVC von ca. 98 %. Bei der doppelten Bestrahlungszeit steigt die Inaktivierungsrate beider Oberflächen um ca. 2 %. Die Bestrahlungszeiten von 5 und 10 Minuten liefern konstante Inaktivierungsraten bei der Testoberfläche PVC; beim Linoleum ändern sich die Inaktivierungswerte kaum.

Die "Linoleum-Inaktivierungsrate" bei 10 Minuten Bestrahlungszeit liegt noch unter der "PVC-Inaktivierungsrate" bei 2 Minuten Bestrahlungszeit. Somit wird beim Linoleum trotz Anwendung der fünffachen Bestrahlungsdauer noch eine geringere Inaktivierungsrate erreicht als beim PVC. Daraus folgt, daß die Oberfläche PVC, deren Inaktivierungswerte sich schon nach 2 Minuten Bestrahlungszeit der 100%-igen Inaktivierungsrate asymptotisch nähern, dem Linoleum in Bezug auf die Keim-Inaktivierung durch UV-Strahlen überlegen ist.

b) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 6

Beim Abstand von 1 m zeigen die Oberflächen Resopal, dc-fix und PVC eine Inaktivierungsrate um 100 %. Der doppelte Abstand liefert einen geringen Abfall ihrer Inaktivierungs-

raten; beim Abstand von 4 m und 5 m weichen ihre Inaktivierungswerte etwas voneinander ab. Selbst bei der verhältnismäßig weiten Entfernung von 5 m werden noch Inaktivierungsraten um 80 % erzielt. Die Inaktivierungsrate der Oberfläche Linoleum fällt von ca. 94 % bei 1 m Abstand auf ca. 65 % bei 5 m Abstand. Weiterhin kann dieser Abbildung entnommen werden, daß die "Resopal-Inaktivierungsrate" bei 4 m Abstand noch höher liegt als die "Linoleum-Inaktivierungsrate" bei 1 m Abstand.

c) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 7

In diesem Versuch wurde die dreifache Bestrahlungsdauer des zweiten Versuches angewandt (15 Minuten).

Die Inaktivierungsraten der Oberflächen Resopal und dc-fix liegen bei 5 m Abstand noch bei 99 % und nähern sich bei geringerer Entfernung asyptotisch der 100%-igen Inaktivierungsrate. Nahezu gleichgute Inaktivierungsraten liefert die Oberfläche PVC, die bei 5 m Entfernung noch eine ca. 96%-ige Keim-Inaktivierung aufweist. Die "Linoleum-Inaktivierungsrate" fällt von ca. 97 % bei 1 m Abstand auf ca. 90 % bei 5 m Abstand. Weitaus niedrigere Inaktivierungsraten zeigt die Testoberfläche Tapete: von ca. 84 % bei 1 m Entfernung sinkt die Keim-Inaktivierung auf ca. 52 % bei 5 m Entfernung ab. Die Furnierholzoberfläche liefert die niedrigsten Inaktivierungsraten. Bei 1 m Entfernung

beträgt die Keim-Inaktivierung ca. 59 % und bei 5 m Entfernung nur noch ca. 16 %.

Die Inaktivierungsraten der Tapete und des Furnierholzes bei 1 m Abstand liegen zum Teil weit niedriger als die der Oberflächen Resopal, dc-fix, PVC und Linoleum bei 5 m Abstand.

Aus Abb. 6 und Abb. 7 geht hervor, welch großen Einfluß der Abstand einer infizierten Oberfläche von der UV-Quelle auf die Keim-Inaktivierung hat.

Vergleicht man diese beiden Abbildungen miteinander, so wird klar, daß mit der Erhöhung der Bestrahlungsdauer ein Ansteigen der Keim-Inaktivierung verbunden ist. Allerdings werden nur deutlich ansteigende Inaktivierungsraten bei den Entfernungen von 4 m und 5 m verzeichnet. Diese Feststellung deutet darauf hin, daß die Inaktivierungsraten des dritten Versuches, und zwar die der Abstände 1 m und 2 m, sich einem Grenzwert nähern, d.h. die Inaktivierungsrate der Oberflächen Resopal, dc-fix, PVC und Linoleum wird bei noch weiterer Steigerung der Bestrahlungsdauer kaum ansteigen. Natürlich kann der "Grenzwert der Keim-Inaktivierung einer infizierten Oberfläche" kein absoluter Wert sein, denn einerseits wird die Oberflächenstruktur eines Materials pro Flächeneinheit selten identisch sein (die einzelnen Inaktivierungsraten der Tapete und besonders des Furnierholzes der Tabelle 7 geben hierfür eine Bestätigung, denn zum Teil zeigen die sich entsprechenden

Werte eine beträchtliche Streuung) und andererseits hängt der Grenzwert der Keim-Inaktivierung von der Art der Infizierung, d.h. vom Keimgehalt pro Flächeneinheit ab.

d) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 8

In dieser Abbildung wurden die prozentualen Inaktivierungsraten von PVC und Linoleum eingetragen, die sich bei gleicher Versuchsanordnung einmal bei der Bestrahlung der Testoberflächen mit Reflektor und einmal ohne Reflektor ergaben.

Die prozentualen Inaktivierungsraten sind den Tabellen 6C, 6D, 8A, 8B und die entsprechenden Bestrahlungsdosen der Tabelle 4 entnommen.

Vergleicht man die prozentualen Inaktivierungsraten der gleichen Testoberfläche, die einmal mit und das andere Mal ohne Reflektor erzielt wurden, so stellt man fest, daß bei der Bestrahlung mit Reflektor jeweils eine höhere Keim-Inaktivierung erreicht wurde.

Durch die Anbringung eines Reflektors (Aluminium-Reflektor an der UV-Quelle erfolgt eine Bündelung der UV-Strahlen, und somit wird eine höhere Bestrahlungsstärke erreicht. Mit der Beseitigung des Reflektors ist eine Abnahme der Bestrahlungsstärke verbunden. Natürlich ändert sich die Bestrahlungsdosis in der gleichen Weise wie die Bestrahlungsstärke.

e) Diskussion der graphischen Darstellung Abb. 9

Wie in der Abb. 8, so wurden auch hier die prozentualen Inaktivierungsraten von PVC und Linoleum eingetragen, die sich bei der gleichen Versuchsanordnung einmal bei der Bestrahlung der Testoberflächen mit Reflektor und einmal ohne Reflektor ergaben. Der einzige Unterschied besteht darin, daß im Vergleich zur Abb. 8 jeweils die dreifache Bestrahlungsdosis auf der Abszisse aufgetragen wurde. Die prozentualen Inaktivierungsraten sind den Tabellen 7C, 7D, 9A, 9B und die entsprechenden Bestrahlungsdosen der Tabelle 4 entnommen.

Auch hier zeigt der Vergleich der prozentualen Inaktivierungsraten der gleichen Testoberflächen, daß die Anbringung bzw. die Entfernung des Reflektors von der UV-Quelle einen starken Einfluß auf die Größe der Bestrahlungsdosis und somit auch auf das Ausmaß der Keim-Inaktivierung hat.

Vergleicht man die Abbildungen 8 und 9 miteinander, so kann sehr deutlich die Annäherung der prozentualen Inaktivierungsraten an einen bestimmten Grenzwert der Keim-Inaktivierung beobachtet werden. Auf diese wichtige Feststellung ist in dem Abschnitt VIII c. näher eingegangen worden.

IX. Untersuchung der Oberflächenbeschaffenheit der Testmaterialien

Entsprechend einer abnehmenden Inaktivierung des Testkeimes ließen sich die untersuchten Oberflächen zu der nun folgenden Reihe anordnen: Resopal, dc-fix, PVC, Linoleum, Tapete und Furnierholz. Diese Reihenfolge gab zu der Vermutung Anlaß, daß die Inaktivierung des Testkeimes von der Struktur der Oberfläche des untersuchten Materials abhängt.

Die Untersuchung der verschiedenen Oberflächenstrukturen wurde daraufhin mit Hilfe eines leistungsfähigen Mikroskopes vorgenommen. Das normale Lichtmikroskop konnte für diese Oberflächenaufnahmen nicht verwendet werden, da erstens das erreichbare Auflösungsvermögen zu gering ist, und zweitens die Tiefenschärfe nicht ausreicht. Das normale Elektronenmikroskop ist für diese Untersuchungen ebenfalls kaum geeignet, denn es kann nur dünne Schichten durchstrahlen, und die Tiefenschärfe ist für diese Art der Fragestellung auch noch nicht ausreichend. Für rauhe und zerklüftete Oberflächen müßte daher mit der Abdrucktechnik gearbeitet werden, die bei diesem Material nur unzureichende Ergebnisse liefern könnte. Grundsätzlich erfüllt nur das Scanning-Mikroskop (ein Raster-Aufstrahlungs-Sekundärelektronenemissionsmikroskop) die bei diesen Oberflächenuntersuchungen gestellten Anforderungen, denn

das Auflösungsvermögen beträgt etwa 200 Å und die Tiefenschärfe dieses Mikroskopes ist etwa 300 bis 1000 mal besser als die des Lichtmikroskopes bei gleicher Vergrößerung.

Die elektronenmikroskopischen Aufnahmen mit dem Scanning-Mikroskop wurden an der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin *) durchgeführt.

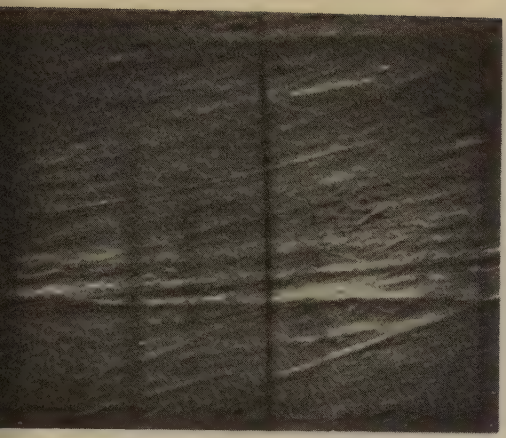
*) Für die freundliche Genehmigung zur Anfertigung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen sei Herrn Direktor Prof. Dr.-Ing. S c h w a r z besonders gedankt.

X. Zusammenstellung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen

Die Testoberflächen sind nach zunehmender Zerklüftung wie folgt geordnet:

Tabelle 10:

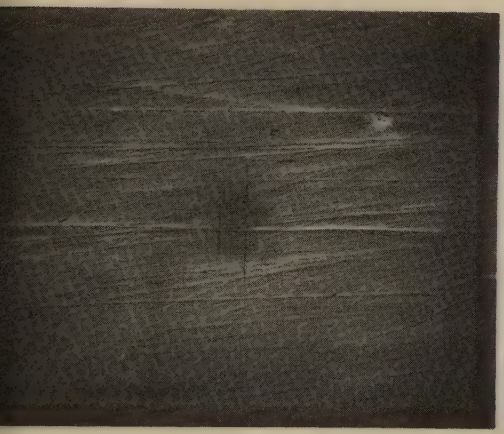
Präparat	Bild Nr.	Vergrößerung
1.) Resopal	1	12800 x
	2	2550 x
	3	630 x
2.) dc-fix	4	10000 x
	5	2000 x
	6	500 x
3.) PVC	7	10000 x
	8	2000 x
	9	520 x
4.) Linoleum	10	3000 x
	11	750 x
	12	150 x
5.) Tapete	13	11000 x
	14	2200 x
	15	550 x
	16	110 x
6.) Furnierholz	17	6500 x
	18	2580 x
	19	640 x
	20	125 x
	21	25 x



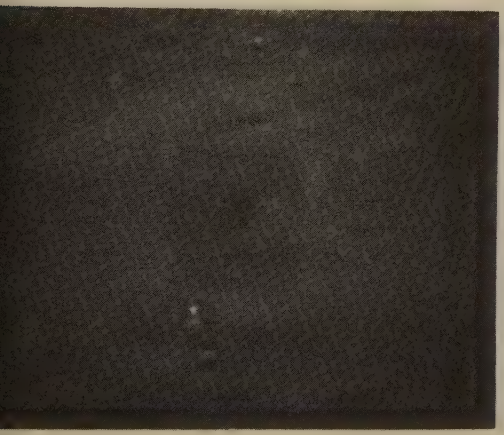
Präparat Nr.1

Resopal

(v 12800 x) Bild Nr.1



(v 2550 x) Bild Nr.2



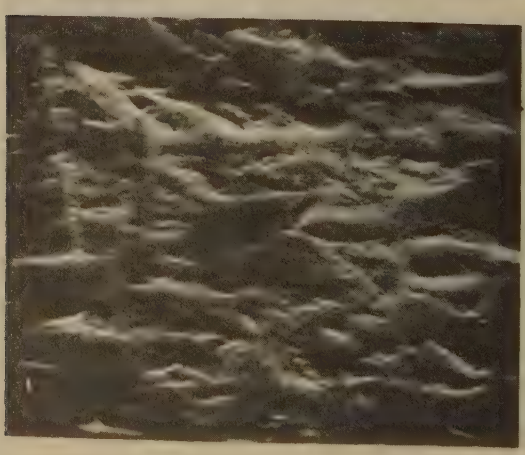
(v 630 x) Bild Nr.3

Präparat Nr. 2

dc-fix

(v10000x) Bild Nr.4

(v 2000x) Bild Nr.5



(v500x) Bild Nr.6

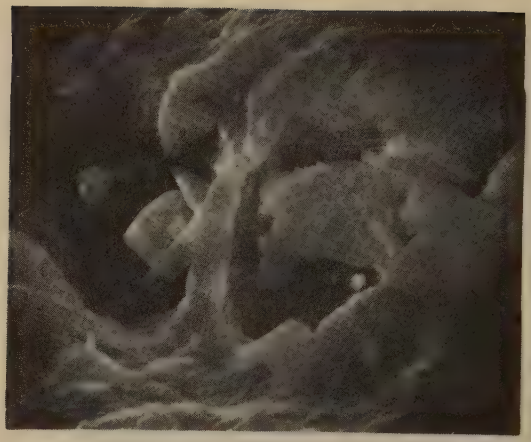
Präparat Nr. 3

PVC

(v10000x) Bild Nr. 7

(v2000x) Bild Nr. 8

(v520x) Bild Nr. 9

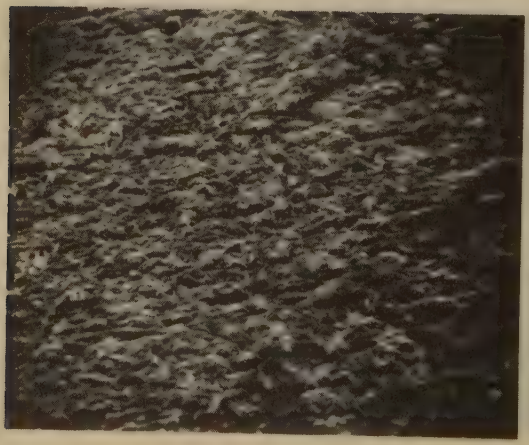


Präparat Nr. 4

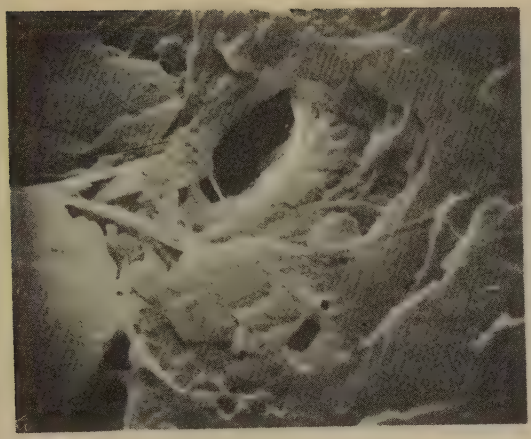
Linoleum

(v3000x) Bild Nr. 10

(v750x) Bild Nr. 11



(v150x) Bild Nr. 12



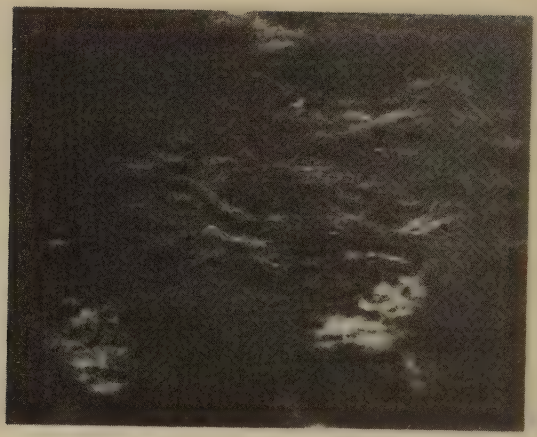
Präparat Nr. 5

Tapete

(v 11000x) Bild Nr. 13

(v 2200x) Bild Nr. 14

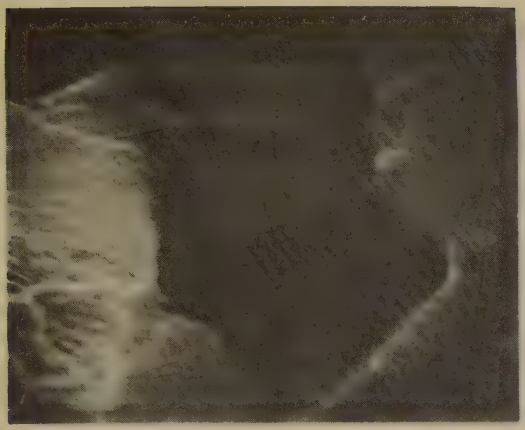
(v 550x) Bild Nr. 15



Präparat Nr. 5

Tapete

(v 110x) Bild Nr. 16



Präparat Nr.6

Furnierholz

(v6500x) Bild Nr.17

(v2580x) Bild Nr.18

(v640x) Bild Nr.19

Präparat Nr. 6

Furnierholz

(v125x) Bild Nr. 20

(v 25x) Bild Nr. 21

XI. Auswertung der elektronenmikroskopischen Aufnahmen unter Berücksichtigung der praktischen Versuchsergebnisse

a) Testoberfläche Resopal:

Beim Betrachten der "Resopal-Aufnahmen" könnte man schon voraussagen, daß die UV-Bestrahlung dieser sehr glatten, mit dem hier untersuchten Testkeim infizierten Oberfläche eine sehr gute Inaktivierungsrate liefern müßte.
Die Ergebnisse der praktischen Versuche bestätigen diese Annahme.

b) Testoberfläche dc-fix:

Die "dc-fix-Aufnahmen" zeigen bei 10000-facher und 2000-facher Vergrößerung eine leicht gekörnte Oberfläche, die bei nur 500-facher Vergrößerung lediglich schwach gewellt erscheint.
Die in den praktischen Versuchen ermittelten Ergebnisse zeigen, daß die Inaktivierungsraten bei gleicher Versuchsanordnung zwar sehr gut sind, aber nicht an die der Testoberfläche Resopal heranreichen.

c) Testoberfläche PVC:

Bild Nr. 9 erscheint im Vergleich zur entsprechenden "dc-fix-Aufnahme" (Bild Nr. 6) etwas stärker gewellt.
Bild Nr. 7 gibt schließlich den sichtbaren Beweis, daß die PVC-Oberfläche stärker gekörnt, also etwas unebener

als die dc-fix-Oberfläche ist. Folglich müßten die Inaktivierungsraten etwas niedriger als beim dc-fix liegen, was in der Tat auch der Fall war. Die Aufnahmen beider Präparate (dc-fix und PVC) zeigen aber noch eine zu glattflächige Oberfläche, als daß eine Ausmessung der vereinzelt auftretenden, kleinen Vertiefungen sinnvoll wäre.

d) Testoberfläche Linoleum:

Die "Linoleum-Aufnahmen" zeigen schon eine sehr unebene, vielfach stark zerklüftete Oberfläche. Wie meine Messungen ergeben haben, weisen die Zerklüftungen Vertiefungen mit einem Durchmesser von etwa 8μ auf. Da die in dieser Arbeit untersuchten Bakterien nur einen Durchmesser von etwa 1μ besitzen, könnten sich in diesen Vertiefungen theoretisch zahlreiche solcher Bakterien befinden.

Tatsächlich lieferten die praktischen Versuche Ergebnisse, die diese Vermutung bestärken, denn die Inaktivierungsraten lagen niedriger als bei den "glatteren" Testoberflächen.

e) Testoberfläche Tapete:

Bild Nr. 13 bis 16 zeigen eine sehr stark zerklüftete Oberfläche. Zwischen faserartigen Strängen scheinen viele kantige Bruchstücke locker nebeneinander zu liegen.

Eine "weitgehende" UV-Entkeimung dieser Oberfläche erscheint auf Grund dieser Aufnahmen auch bei Anwendung einer noch so hohen Bestrahlungsdosis nicht möglich.

f) Testoberfläche Furnierholz:

Im Bild Nr. 21 und besonders im Bild Nr. 20 kann man deutlich das netzartige Gewebe der Leitgefäße erkennen. Bild Nr. 17 bis 19 zeigen ähnlich stark zerfurchte Oberflächen wie die "Tapeten-Aufnahmen", nur scheint der Zerklüftungsgrad noch größer zu sein.

Die in den praktischen Versuchen ermittelten Inaktivierungsraten waren weitaus geringer als die der Testoberfläche Tapete.

Allgemeingültig kann gesagt werden, daß die elektronenmikroskopischen Aufnahmen jeweils die in den praktischen Versuchen ermittelten Ergebnisse bestätigen.

D. Zusammenfassung und Diskussion

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit bestand in der Prüfung der Sterilisierbarkeit von bestimmten Oberflächen durch UV-Strahlen.

Aus den erzielten Ergebnissen geht hervor, daß eine UV-Sterilisation der infizierten Testoberflächen nicht möglich erscheint, jedoch kann eine verhältnismäßig hohe Keimzahl-Reduzierung durch UV-Inaktivierung des Testkeimes erreicht werden. Das Ausmaß der Keimzahl-Reduzierung, das insbesondere von der Größe der angewandten Bestrahlungsdosis und von der Beschaffenheit der bestrahlten Oberfläche abhängt, ist quantitativ festgehalten worden.

Ordnete man die elektronenmikroskopischen Aufnahmen nach zunehmender Zerklüftung an, so erhielt man die gleiche Reihenfolge, die sich bei der Anordnung der Oberflächen nach abnehmender Keim-Inaktivierung ergab. Dieses Ergebnis unterstützt in starkem Maße die Vermutung, daß sich Keime von der Größe der Staphylokokken leicht in den "Schattenbereichen" bestimmter Oberflächen verborgen halten und somit von der ultravioletten Strahlung nicht getroffen werden können.

Auf Grund der quantitativen Aussage dieser Arbeit eröffnet sich die für die Praxis äußerst wichtige Möglichkeit einer gezielten Anwendung der UV-Strahlen zur höchstmöglichen

Entkeimung von bestimmten Oberflächen des betreffenden Raumes; somit kann auch der Hospitalismus wirksam bekämpft werden.

Bei der praktischen Anwendung der UV-Strahlen zur Entkeimung von Räumen und deren Oberfläche sind außerdem folgende Grundsätze zu berücksichtigen: Wenn auch die Direktbestrahlung eines Raumes und dessen Oberflächen den besten Effekt haben muß, läßt sich diese Art der Bestrahlung wegen der Wirkungen des UV-Lichtes auf den menschlichen Körper (Erythem und Konjunktivitis) nur in Sonderfällen durchführen, wie zum Beispiel in Impfkästen, bei der sterilen Abfüllung von Ampullen und wenn sich nicht gleichzeitig Personen im bestrahlten Raum aufhalten. In Räumen, in denen sich Personen aufhalten, vor allem dann, wenn sich die UV-Entkeimung über einen längeren Zeitraum hinzieht, ist eine direkte Bestrahlung nicht angebracht. In solchen Fällen verwendet man die "indirekte" Bestrahlung. Der Reflektor der Entkeimungsgeräte wird dabei zur Decke gerichtet. (Die Anordnung der UV-Lampe ist jeweils der Raumhöhe angepaßt.) Um die Reflexion der kurzwelligen UV-Strahlung von normal getünchter Wand und Decke, die UV-Licht zu etwa 40 % reflektieren (61), herabzusetzen, müssen diese mit Ölfarbe in weißlichem oder gelblichem Ton gestrichen werden. Die im allgemeinen üblichen Leimfarbanstriche haben ein verhältnismäßig hohes Reflexionsvermögen für diese kurzwellige

Strahlung (62). Eine recht niedrige Reflexion besitzen zum Beispiel die Membranit-Anstrichstoffe der Firma "Henkel & Cie. G.m.b.H.", Düsseldorf.

Bei dieser indirekten Bestrahlung kann natürlich nur mit einer Keimzahl-Reduzierung der Raumluft und der dabei direkt bestrahlten Oberflächen (der Raumdecke und der oberen Flächen der Wände) gerechnet werden. Der durch die natürliche Luftumwälzung bedingte Austausch der Luft aus der bestrahlten und nicht bestrahlten Zone des Raumes bewirkt so die Verminderung des Bakteriengehaltes der gesamten Raumluft.

Zur höchstmöglichen Entkeimung der Raumluft und möglichst vieler Oberflächen des Raumes, speziell von Arbeitsplätzen zum Beispiel in bakteriologischen Laboratorien oder in Krankenhausapotheken, ist demnach neben der indirekten Raumluftentkeimung durch UV-Strahlen zusätzlich die direkte Arbeitsplatzbestrahlung anzuwenden. Natürlich müssen die im Raum befindlichen Personen Augen und Hände durch Tragen von Schutzbrillen bzw. Handschuhen und eventuell die Gesichtshaut durch Auftragen eines guten Sonnencremes schützen. Besonders zweckmäßig scheint es, wenn man die betreffenden Arbeiten von außen her in einem allseitig von Fensterglas begrenzten Kasten vornimmt, der mit einer "ausreichenden" UV-Dosis bestrahlt wird. Augenschutz ist dann nicht erforderlich.

Allgemeine Voraussetzungen zur Erlangung einer wesentlichen Keimzahl-Reduktion der Raumluft durch UV-Bestrahlung sind für Krankenhausräume (besonders Operationsräume) und bakteriologische Laboratorien (besonders Nährbodenküchen) von W. MAASSEN (63) und für Apothekenlaboratorien (besonders Penicillinabfüllräume von Krankenhausapotheken) von Apotheker E. ROGALL (64) eingehend beschrieben worden. B. SCHMIDT (65) schilderte weitere allgemeine Methoden zur Einschränkung des Hospitalismus.

Auf Grund der Versuchsergebnisse dieser Arbeit kann diesen Ausführungen hinzugefügt werden, daß sämtliche Oberflächen der zu entkeimenden Räume (Fußböden, Wände, Decken und die Oberflächen des gesamten Mobiliars) "glattflächig" sein sollten.

Linoleum, Tapeten, Holzfußböden und furnierbedecktes Mobiliar sollten zur Ausstattung der betreffenden Räume nicht verwandt werden.

Es eignen sich besonders Materialien wie Resopal, dc-fix und PVC für die Inneneinrichtung sämtlicher Räume, in denen durch UV-Bestrahlung eine "wesentliche" Keimzahl-Reduzierung des gesamten Milieus (Raumluft und Oberflächen des Raumes) angestrebt wird.

E. Literaturangaben

(1) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 25, Lea & Febiger, Philadelphia 1945

(2) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 24, Lea & Febiger, Philadelphia 1945

(3) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 24, Lea & Febiger, Philadelphia 1945

(4) E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 23, S. 57, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(5) Zitiert nach H. E. RONGE, Ultraviolet irradiation with artificial illumination, Acta Physiologica Scandinavica, Suppl. 49, S. 40, (1948)

(6) F. L. GATES, A study of the bactericidal action of ultraviolet light, J. gen. Physiol. 13, S. 231-248, (1929)

(7) O. EHRISHMANN u. W. NOETHLING, Über die bakterizide Wirkung des monochromatischen Lichtes, Ztschr. f. Hyg. u. Infektionskrankheiten, Bd. 113, S. 597-628, (1932)

(8) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 254, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1949

(9) E. SAUTER, Sonderdr. aus der "Milchwissenschaft", 4. Jahrgang, Heft 8, S. 235, (1949)

(10) Zitiert nach K. H. WALLHÄUSSER u. H. SCHMIDT, Sterilisation - Desinfektion - Konservierung - Chemotherapie, S. 74-80, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1967

(11) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 254, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1949

(12) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 26, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(13) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 26, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(14) Zitiert nach E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 26, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(15) Zitiert nach L. GRÜN, Staphylokokken in Klinik und Praxis, S. 96, Wissenschaftl. Verlagsgesellschaft m.b.H., Stuttgart, 1964

(16) E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 410, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(17) A. LANGE, Medizin von heute, Heft 23, S. 42, Troponwerke Köln/Mühlheim, (1958)

(18) J. BUCHHOLZ and A. V. JENEY, Bacterial effect of ultraviolet light, Zbl. f. Bakt. 5, 299 (1935)

(19) E. SAUTER, Sonderdr. aus der "Molkerei-Zeitung", 6. Jahrgang, Heft 47, S. 1, (1952)

(20) Zitiert nach L. GRÜN, Staphylokokken in Klinik und Praxis, S. 96, Wissenschaftl. Verlag G.m.b.H., Stuttgart, 1964

(21) L. GRÜN, Staphylokokken in Klinik und Praxis, S. 96, Wissenschaftl. Verlag G.m.b.H., Stuttgart, 1964

(22) A. ANSLOW and S. C. NASSAR, J. opt. Soc. Amer., Bd. 31, S. 118-123, (1941)

(23) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 253, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1949

(24) T. CASPERSON, Skand. Arch. Physiol. Suppl. Nr. 8, Bd. 73, S. 1-151, (1936)

(25) WYCKOFF, Radiology (Amer.) 17, 1171, (1931)
WYCKOFF, J. gen. Physiol. 15, 351 (1932)

(26) E. SAUTER, Sonderdr. aus der "Milchwissenschaft", 4. Jahrgang, Heft 8, S. 236, (1949)

(27) N. W. TIMOFEEFF-RESSOVSKY, Das Trefferprinzip in der Biologie, S. 77, S. Hirzel Verlag, Leipzig, 1947

(28) P. JORDAN, Radiologica, 2, 16, 166, (1938)
P. JORDAN, Radiologica, 3, 157, (1938)
P. JORDAN, Protoplasma, 32, 464, (1939)

(29) R. BEUKERS u. W. BERENDS, Biochem. Biophys. Acta, 49, 181-189, (1961)

(30) A. WACKER, H. DELLWEG u. D. WEINBLUM, Naturwissenschaften, 47, 477, (1960)

(31) A. KELLNER, J. Bact. 58, 511, (1949)

(32) A. HOLLAENDER, Radiation Biology, Vol.2, Chapt. 12, S. 455-457, McGraw-Hill Book Company, New York, 1955

(33) Zitiert nach E. C. POLLARD, The Physics of viruses, Sloane Physics Laboratory, S. 166, Academic Press Inc., Yale University, New York 10, N.Y., 1953

(34) LEMBKE u. BÖNICKE, Zbl. Bakter. I. Orig. 153, 6, 145, (1949)

(35) A. HOLLAENDER, Radiation Biology, Vol.2, Chapt. 12, S. 401, McGRAW-Hill Book Company, New York, 1955

(36) H. BAYHA, Ztschr. f. Hygiene, Bd. 135, S. 1, (1952)

(37) H. BAYHA, Ztschr. f. Hygiene, Bd. 135, S. 1-2, (1952)

(38) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 302, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1949

(39) C. FLÜGGE, Ztschr. Hyg. 30, 107, (1899)

(40) B. LANGE, Die Infektion auf dem Luftwege durch Tröpfchen und durch Staub, Weichh. Erg. Hyg. 9, 237, (1928)

(41) W. F. WELLS and M. W. WELLS, J. Amer. med. Ass., 107, 1698, 1805, (1936)

(42) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 297, Walter de Gruyter &Co., Berlin, 1949

(43) G. HENNEBERG u. H. KÖHLER, Praktikum der Virusdiagnostik, S. 100-101, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1961

(44) Zitiert nach R. BÖNICKE, Sonderdr.: Kongressbericht der dritten Wissenschaftlichen Tagung der Norddeutschen Tuberkulose-Gesellschaft e.V., S. 2, Hamburg, 23.10.1953

(45) R. BÖNICKE, Sonderdr.: Kongressbericht der dritten Wissenschaftlichen Tagung der Norddeutschen Tuberkulose-Gesellschaft e.V., S. 2, Hamburg, 23.10.1953

(46) R. CRUICKSHANK (The Airhygiene Committee), Airdisinfection with ultraviolet irradiation, No. 283, Her Majesty's Stationery Office, London, 1954

(47) R. BÖNICKE u. H. BAYHA, Beiträge zur Klinik der Tuberkulose, Bd. 107, S. 71-77, (1952)

(48) E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 62, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(49) E. C. McCULLOCH, Disinfection and sterilization, 2.ed., S. 62, Lea & Febiger, Philadelphia, 1945

(50) J. W. APPLING and F. W. TANNER, Proc. Soc. exp. Biol. Med., Bd. 47, S. 51-54, (1941)

(51) A. E. H. MEYER u. E. O. SEITZ, Ultraviolette Strahlen, 2. Auflage, S. 304, Walter de Gruyter & Co., Berlin, 1949

(52) H. EWEST u. A. LEICHNER, Getreideentmuffung durch UV-Strahlen, Mühle Bd. 76, S. 569-570, (1939) und erweiterter Sonderdr. der Siemens-Schuckert-Werke: S. 60, Nr. 47, 333/2, 20.10.1939

(53) Prospekt der Firma Original Hanau m.b.H. NN 30/89

(54) DIN 5031, Bl. 1, August 1962 (Deutsche Normen)

(55) DIN 5031, Bl. 1, August 1962 (Deutsche Normen)

(56) A. HOLLAENDER, Radiation Biology, Vol.2, Chapt. 12, S. 46, McGraw-Hill Book Company, New York, 1955

(57) E. SAUTER, Sonderdr. aus der "Milchwissenschaft", 4. Jahrgang, Heft 8, S. 237, (1949)

(58) H. RÖMPP, Chemie Lexikon, 6. Auflage, Francksche Verlagshandlung Stuttgart, 1966

(59) S. SCHEUERMANN u. H. J. THIER, "abc Chemie", Verlag H. Deutsch, Frankfurt/Main u. Zürich, 1965

(60) S. SCHEUERMANN u. H. J. THIER, "abc Chemie", Verlag H. Deutsch, Frankfurt/Main u. Zürich, 1965

(61) Siemens-Schuckertwerke AG., Bei der Verwendung von Ultraviolett-Raumbestrahlungsgeräten zu beachtende Gesichtspunkte, S. 2

(62) Sterisol-Prospekt D 31440, 1059 der Firma "Quarzlampen Gesellschaft m.b.H.", Hanau

(63) W. MAASSEN, Sonderdr.: Kongressbericht der dritten Wissenschaftlichen Tagung der Norddeutschen Tuberkulose-Gesellschaft e.V., S. 12, Hamburg, 23.10.1953

(64) E. ROGALL, Sonderdr.: Kongressbericht der dritten Wissenschaftlichen Tagung der Norddeutschen Tuberkulose-Gesellschaft e. V., S. 17, Hamburg, 23.10.53

(65) B. SCHMIDT, Zbl. f. Bakteriolog., 170, S. 127-128, (1957/58)

Lebenslauf

Am 19. Oktober 1941 wurde ich als dritter Sohn des Kaufmanns Max Stenschke und seiner Ehefrau Betti, geb. Steiner, in Birnbaum/Warthe geboren.

Im Januar des Jahres 1945 mußten wir meine Heimat verlassen und erreichten schließlich Berlin. Zwei Jahre später wurde ich in die 6. Grundschule in Berlin-Reinickendorf eingeschult. Nach Abschluß der 6. Klasse wechselte ich in die 1. O.T.Z. in Berlin-Reinickendorf über. Schließlich entschied ich mich für den Besuch eines Gymnasiums. Im Jahre 1960 legte ich am Georg-Herwegh-Gymnasium in Berlin-Hermsdorf die Reifeprüfung ab.

Nach zweijähriger Praktikantenzeit in einer öffentlichen Apotheke legte ich im März 1962 die pharmazeutische Vorprüfung in Berlin ab. Anschließend studierte ich mit Hilfe eines amerikanischen Stipendiums zwei Semester Chemie am Hartwick College in Oneonta, New York, U.S.A.

Im Wintersemester 1963/64 setzte ich mein pharmazeutisches Studium an der Technischen Universität Berlin fort. Nach zwei Semestern wechselte ich zur Freien Universität Berlin und bestand im Oktober 1966 die pharmazeutische Prüfung.

Im November 1967 wurde mir die Bestallung als Apotheker erteilt.

Das Thema der vorliegenden Promotionsarbeit erhielt ich im Mai 1967 von Herrn Prof. Dr. med. Georg Henneberg, dem Direktor des Robert Koch-Institutes Berlin.